자원환경지질, 제34권, 제4호, 395-415, 2001
Econ. Environ. Geol., 34(4), 395-415, 2001

충남 서부 신곡 지역에 분포하는 초염기성암의 광물조성 및 지구화학

송석환[1]* · 송윤섭[2]

[1]중부대학교 환경공학 전공, [2]고려대학교 지구환경과학과

Mineralogy and Geochemistry of Ultramafic Rocks from the Singok Area, Western Part of Chungnam

Suckhwan Song[1]* and Yun Sub Song[2]

[1]Major of Environmental Engineering, Joongbu Univ., Chungnam 312-940, Korea
[2]Department of Earth and Environmental Sciences, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

In the Singok area, western part of Chungcheongnam-Do, two ultramafic masses, Singok mass and Kaewol mass, occur as isolated lenticular bodies in the Precambrian Kyeonggi gneiss complex. The masses extend for several hundred meter to NNE direction, parallel to the main fault line of this area. The rocks are dunite and harzburgite, but partially and absolutely serpentinized. They dominantly show porphyroclastic and recrystallized textures with equigranular-mosaic and protogranular textures. In spite of differences among the alteration and metamorphism, the ultramafic masses are characterized by varying amounts of high fosteritic olivine ($Fo_{0.88-0.93}$), magnesian pyroxene ($En_{0.93-0.97}$) and tremolitic to tschermakitic hornblende with minor spinel, serpentine, chlorite, calcite, magnetite, phlogopite and talc. It is compared with adjacent gneiss complex containing amphibole, biotite, plagioclase, alkali-feldspar and quartz. Geochemically, these rocks show high magnesium number (*Mg*>90.38), and transitional element (Ni=595-2480, Cr=1010-4400, Co=36-120 ppm), low alkali element (Na_2O<0.3, K_2O<0.11, Al_2O_3<2.95 wt%) and depleted incompatible element contents, which is compared with adjacent rocks (*Mg* < 83.69, Na_2O=1.02-3.42 wt%, K_2O=0.67-5.65 wt%, Al_2O_3=9.15-16.86 wt%, Ni < 435 ppm, Cr < 1440 ppm, Co<59 ppm, enriched incompatible element contents). Overall characteristics of ultramafic rocks from the Singok and Kaewol masses are similar to the those of adjacent ultramafic bodies in Chungnam with worldwide orogenic related Alpine type ultramafic rocks. Calculated geothermometries suggest that the ultramafic rocks have experienced metamorphism in the condition ranging from the greenschist facies to granulite facies.

Key words : Singok area, alpine type ultramafic rocks, serpentinization, porphyroclastic texture, metamorphism

충남 서부 신곡 지역에는 신곡 및 계월 두 초염기성 암체가 선캠브리아기 경기 편마암 복합체내에서 격리된 안구상 암체로서 산출되고 있다. 이 암체들은 이 지역의 우세한 구조선 방향인 NNE 방향과 평행하게 수백 m 신장되어 분포한다. 이 암석들은 완전히 또는 부분적으로 사문암화 및 활석화 되었고 잔쇄 반상조직이 두드러지며 등립질-모자이크조직 및 원생입상조직을 보이기도 한다. 광물 조성상 듀나이트 또는 하즈버자이트로 변질 및 변성정도에 따른 차이를 보이기도 하지만 높은 포스테라이트 조성의 감람석($Fo_{0.88-0.93}$), 엔스테타이트 조성의 사방휘석($En_{0.93-0.97}$), 트래모라이트질에서 체마카이트질의 각섬석 및 투각섬석을 주로 포함하고 첨정석, 사문석, 녹리석, 방해석, 자철석, 금운모, 활석등을 포함하기도 한다. 이런 특징들은 주변의 각섬석, 흑운모, 사장석, 알칼리 장석, 석영을 포함하는 편마암 복합체와 뚜렷이 구분이 된다. 지화학적으로 이 암석들은 높은 마그네슘비(*Mg*>90.38) 및 전이 원소(Ni=595-2480, Cr=1010-4400, Co=36-120 ppm) 함량과 낮은 알칼리 원소(Na_2O<0.3, K_2O<0.11, Al_2O_3<2.95 wt%)함량 및 결핍된 비호정성 원소들의 빈도가 특징적이다. 이런 특징들은 주변암이 보이는 것들(*Mg*<83.69, Na_2O=1.02-3.42 wt%, K_2O=0.67-5.65 wt%, Al_2O_3=9.15-16.86 wt%, Ni< 435 ppm, Cr< 1440 ppm, Co< 59 ppm, 부화된 비호정 성원소함량)과 차이를 보인다. 이 암체들의 암석학적, 지화학적, 광물학적 결과들은 충남 인접지역 및 전세계의 지구조적으로 노출된 알파인형의 초염기성암과 유사하다. 계산된 지질온도는 이 암석이 상부녹색편암상에서 백립암상에 해당되는 온도범위에서 변성작용을 받았음을 암시한다.

주요어: 신곡지역, 알파인형 초염기성암, 사문암화 작용, 잔쇄반상조직, 변성작용

*Corresponding author: shsong@joongbu.ac.kr

1. 서 론

조산운동과 관련해 맨틀로부터 기원하여 지표면에 노출된 초염기성암을 알파인형 초염기성암이라 한다(Hess, 1955; Moores and MacGregor, 1972). 이런 알파인형 초염기성암체(Ozawa, 1994; Rampone *et al.*, 1995)는 전세계적으로 선캠브리아기 지역(Dymek *et al*, 1988) 및 현생대 조산운동대(Moores and Jackson, 1974; Hebert *et al.*, 1989; Mittwede and Stoddard, 1989; Spell and Norrel, 1990)에 이르는 긴 시간동안 현재 또는 기존의 판경계부(Moore and Jackson, 1974) 및 조산운동지역, 화산호 지역, 해령 또는 변환단층대를 따라 분포하고 있어(Girardeau and Mercier, 1988; Mevel *et al.*, 1991) 그 지역의 지구조사(Paktung, 1984; Bodinier, 1988; Dymek *et al.*, 1988)에 대한 중요한 정보를 제공한다.

또한 이 암석들의 암석학적, 광물학적, 지화학적 특징은 염기성 마그마에서 발견되는 초염기성 포획암들(O'Reilly and Griffin, 1988; Jackson, 1991)과 같아서 맨틀의 지화학적 진화사에 대해(Christensen and Lundquist, 1982; Griffin *et al.*, 1984; Nicolas, 1989; Peacock, 1987; O'Reilly and Griffin, 1988) 비교연구로서 제공될 수 있으며 이 암석이 갖는 암석 물리적 특징은 맨틀암석이 갖는 특성을 이해하는데 매우 중요한 열쇠를 제공할 수 있다(Jackson and Arculus, 1984; Jackson *et al.*, 1990).

이런 유형의 초염기성 암체가 충남 서부지역(지정만과 김규봉, 1977; 우영균 등, 1991; 윤상필 등, 1994, Song *et al.*, 1997)과 한국 남동부 안동 및 울산지역(최수용 등, 1990; 황진영 등, 1993; 김규한 등, 1990, 1993)에서 분포하고 있다.

특히 충남 서부지역의 초염기성암 분포지는 경기육괴와 옥천대가 접하는 경계부분의 경기육괴지역으로(엄상호와 이민성, 1963) 남쪽으로 광천 인접부로 부터 북쪽으로 예산 지역까지에 이르는 넓은 범위에 해당된다. 이 암석들은 렌즈 또는 타원형의 독립적인 신장형태로(우영균 등, 1991) 수 십 m에서 수 km의 직단경을 보이며(엄상호와 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963; 강필종과 임주환, 1974; 김서운 등, 1976) 이 지역에 우세한 북북동 단층방향과 거의 평행하게(우영균 등, 1991; 윤상필 등, 1994) 분포하고 있다.

본 연구 지역인 신곡 지역에서도 이 지역의 우세한 지구조선인 NNE방향의 단층선과 동일 방향으로 평행하게 격리된 암체로서 산출되는 두 초염기성암체가 분포하고 있다. 서부 신곡 암체는 60~80 m 직경과 600 m 신장길이를 보이고 동쪽의 계월 암체는 50~80 m 직경과 400 m 신장길이를 보인다. 두 암체는 제철소용재 및 활석광으로 개발 되었으나 수 회의 휴폐광을 반복하다 현재 폐광중이다.

기존에 이들 지역에 대해 지질학적(이종혁과 김성수, 1963) 연구가 수행되어 있으며 인접 주변암에 대한 암석학적, 광물학적 연구(이상헌과 최기주, 1994; Song and Moon, 1991; Wee *et al.*, 1994)도 일부 되어 진 바 있다.

이번 연구에서는 신곡 지역에 분포하는 초염기성암체의 성인에 대한 명확한 규명을 위해 초염기성암 및 주변 변성암류에 대한 체계적 야외조사와 함께 암석학적 접근이 시도되었고 초염기성암에 대한 상세한 광물학적, 지화학적 연구도 수행되었다. 이들 결과를 전세계 분포하는 알파인형 초염기성암의 연구 결과들과 비교하였다. 이 연구는 충남 서부에 분포하는 초염기성암체의 성인 해석에 도움이 될 것이고, 충남서부, 옥천대와 접하는 경기육괴의 지구조사를 해석하는데 부분적으로 도움이 될 것이다.

2. 일반 지질

연구 지역에 대한 일반 지질을 간략하면 아래와 같다 (엄상호와 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963).

이 지역은 하부의 선캠브리아기 편마암류 및 변성퇴적암류와 이를 관입하는 중생대의 화성암류로서 구성되어 있다(Fig. 1). 이 외에도 반화강암질 편상 화강암, 화강편마암류가 있으나 이들 암석과 기반암인 덕정리 편마암류와의 관계는 불분명하다.

기저암인 덕정리 편마암류는 호상 및 안구상 편마암으로 층리면의 주방향은 N30°~40°E, 30°~50°NW이다. 호상편마암의 경우 우백대와 우흑대의 광물조합이 두드러지며 안구상 편마암은 0.5~4 cm 크기의 안구형 알칼리 장석이 두드러진다. 이 암석은 방향성에 평행한 균열을 따라 후기에 열수의 침투에 의해 형성된 질석의 농집이 두드러지며 부분적으로 미습곡 구조를 보이기도 한다. 주 구성광물로 흑운모, 각섬석, 석영, 사장석 및 알칼리 장석을, 그리고 부 구성광물로 석류석, 규선석, 녹리석, 불투명광물을 포함한다. 기존 연구들은 이 암석의 광물 조합을 근거로 연구지역이 각섬암상에 해당되는 광역 변성작용을 받은 것으로 기재하였다(지정만과 김규봉, 1972; 이상헌과 최기주, 1994).

이와 부정합 관계를 보이는 변성퇴적암류인 월현리

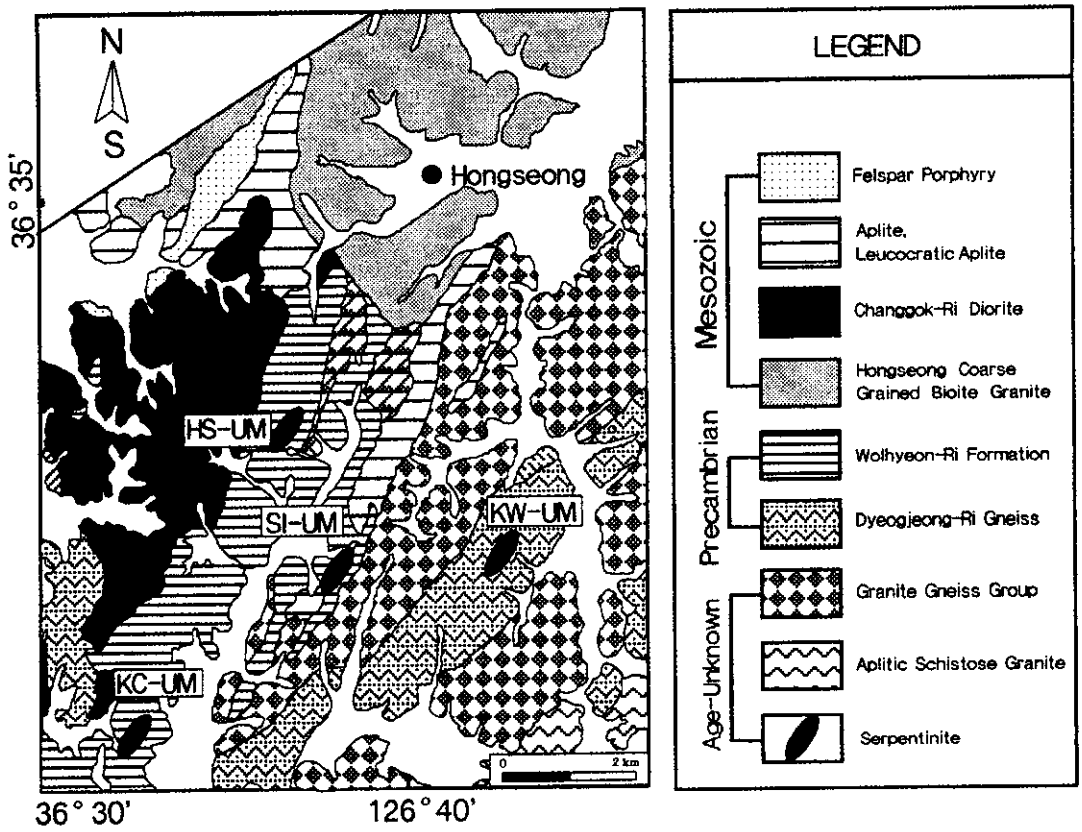

Fig. 1. Geological map of the Singok area and localities of the ultramafic rock masses (UM). HS for Hongseong, KC for Kwangcheon, SI for Singok and KW for Kaewol.

층은 함 흑운모 또는 함 흑운모-각섬석 편암이 있으며 층리면의 방향은 N20°~30°E, 70°~90°NW이다. 이 암석들 사이에 변성 염기성암이 수 십 cm에서 수 m 폭으로 협재되어 산출되나 전자 편암과의 선후관계는 불분명하다. 이 변성퇴적암류는 흑운모, 각섬석, 석영, 사장석, 알칼리 사장석을 주 구성광물로, 석류석, 녹리석, 불투명광물을 부 구성광물로 포함한다(Fig. 2). 한편 변성 염기성암은 전형적인 모자이크 조직을 보이는 각섬석을 주로 포함하며 부 구성광물로 흑운모, 녹리석, 사장석, 불투명광물 등을 포함한다(Fig. 2).

중생대의 하부 관입암체로는 흥성화강암류가 연구지역 북부에 분포하고 있는데 이 암석은 비교적 중립에서 조립의 알칼리 장석과 흑운모가 두드러진다. 그 외의 광물로 사장석, 석영, 금홍석, 백운모, 자철석, 녹리석을 포함한다. 창곡리 섬록암은 연구지역 서부에서 남쪽방향으로 신장되어 분포하고 있다. 이 암석은 암주상 암체로 편마암류 및 변성퇴적암류를 포획하거나 초염기성암을 관입하며, 주 구성광물로 각섬석, 흑운모, 사장석이 있으며, 부 구성광물로 알칼리 장석, 석영, 각섬석, 녹리석등을 포함한다.

반화강암질암은 우백질이거나 부분적으로 각섬석을 함유한다. 일반적으로 우백질 화강암은 중립에서 세립의 입상 구조를 보이며 석영, 사장석, 알칼리 장석을 주로 포함하며, 부수적으로 흑운모, 백운모, 견운모 등을 포함한다. 이 암석은 반화강암질암에 비해 사장석이 알칼리 장석에 비해 많으며 각섬석의 존재가 두드러진다. 장석반암은 세립질암석으로 장석 반정이 두드러지며 부분적으로 흑운모를 반정으로 갖기도 한다. 그 외의 석기로 석영, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모등이 있다. 이 외에도 다수의 산성에서 염기성의 맥암류가 있는데 이들은 주변암 및 초염기성암을 동시에 관입하고 있다.

시대 미상의 암석으로 화강편마암은 월현리층과 덕정리 편마암을 관입하며 구성암석으로 흑운모 화강편마암, 주입식편마암, 안구상편마암이 있다. 이들 암석들은 일반적으로 조립질이며 주 구성광물로 칼리장석, 사장석, 석영, 흑운모가 있고, 부 구성광물로 석류석, 견운모, 녹

리석 등이 있다. 반화강암질 편상화강암은 지역에 따라 반화강암질 반상화강암이나 조립질 편상화강암으로 변화를 보이며 주 구성광물로 미사장석, 석영, 흑운모, 그리고 부수적으로 백운모, 사장석, 견운모등을 포함한다.

3. 초염기성암의 기재

신곡 및 계월 초염기성암은 N20°–30°E 방향으로 주변암인 변성 퇴적암류와 단층관계로 접하고 있다. 이

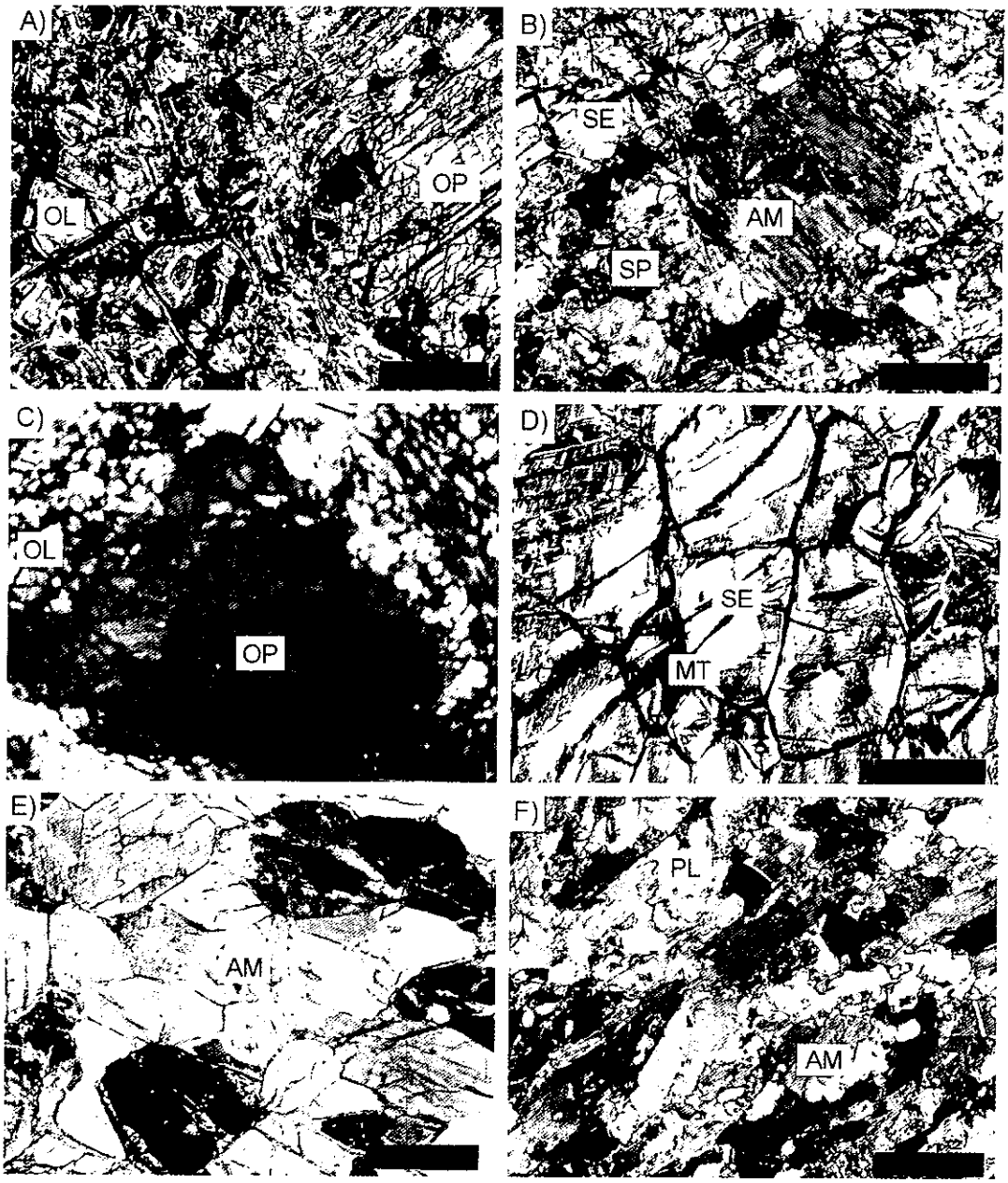

Fig. 2. Photomicrographs of ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam. A) PD type showing a porphyroclastic texture, B)PSP type showing a recrystallized texture, C)PD type showing a orthopyroxene rotated, D)SP type showing a serpentinized texture, E) Metabasites showing a mosaic texture and F) Metasediments showing a foliation. Abbreviations; OL-olivine, OP-orthopyroxene, AM-amphibole, SP-spinel, SE-serpentine, MT-magnetite and PL- plagioclase. The other abbreviations are in the text. Width of a scale bar is 0.5 mm.

암석은 부분적으로 단층 접촉부에 단층점토를 형성시키거나 단층 활면(Slickenside)을 보여 초염기성암이 지표면에 정치된 후 이동되었고 초염기성 암체내에 수차례에 걸친 단층작용을 받았음을 암시한다.

이 초염기성암들은 신장방향과 거의 평행한 방향으로 수 cm에서 15~20 cm 폭으로 변질을 받아 검은색 및 연녹색의 반복되는 띠의 변화를 보이며 대체적으로 사문암화가 미약한 부분에서 연녹색을 띄지만 완전히 사문암화 된 경우 짙은 검은색을 띈다.

경하에서 보이는 암석의 경우 재결정작용 및 휘석 및 각섬석의 거정질을 보이는 잔쇄반상조직이 두드러지며, 등립상-모자이크 조직 및 원생입상 조직이 부분적으로 보이기도 한다(Fig. 2).

신선한 신곡 및 계월 암체는 광물 조성상 듀나이트 또는 하즈버자이트로 감람석, 사방휘석, 각섬석을 주 구성광물로, 첨정석, 자철석, 운모류 등을 부 구성광물로 포함한다(Fig. 2).

이 암석의 광물 조합은 ophiolite section의 심부에서 형성되는 변성기원 peridtite tectonite 중 결핍된 harzburgite(Den Tex, 1969; Coleman, 1977)와 유사하나 일반적인 현무암내 포획암인 lherzolite(O'Reilly and Griffin, 1988) 또는 websterite(Griffin *et al.*, 1984)와는 차이를 보인다. Den Tex(1969)는 ophiolite 내의 변성기원 peridotite를 lherzolite type(Ol+Opx+Cpx I)과 결핍된 hazburgite(Ol+Opx)로 구분하였고 전자를 diapiric emplacement에 의한 고압 변성 후광을 포함하는 root zone peridotite라 하였고 후자를 ophiolite sequence 내의 기저 부분으로부터 온 것으로 alpine type으로 구분하였다.

이 연구지역 암체들은 사문암화가 진행됨에 따라 유색광물의 함량이 감소하고 각섬석, 사문석 및 자철석의 양이 증가하며 첨정석류의 경우 마그네시오 크로마이트로부터 크로마이트로 변해가는 특성을 보인다.

일부 광물들은 수회의 사문암화 작용을 포함한 재결정 흔적을 보였는데 두 암체 중 신곡지역의 암석이 재결정 정도가 두드러졌다. 대부분의 거정질 사방휘석은 주변에 감람석, 사방휘석, 각섬석을 포함하며 일부 거정질 광물들은 회전 흔적을 보인다.

기존 연구에서는 같이(Song *et al.*, 1997) 본 연구에서도 초염기성암을 사문암화의 정도에 따라 3 형태로 분류하였다. 첫째로 사문암화가 거의 진행되지 않아 감람석, 휘석, 각섬석이 주이며 사문석 함량이 15% 이하인 암석형(Peridotite, PD), 둘째로 부분적으로 사문암화되어 사문석의 함량이 15~80%인 암석형(Partially Serpentinized rock, PSP), 그리고 셋째로 거의 완전히 사문암화 되어 감람석, 휘석, 각섬석류가 거의 없으며 사문석, 자철석, 녹리석, 첨정석만을 대부분 포함하는 암석형(Serpentinized rock, SP)으로 분류했다.

4. 분석방법

초염기성암과 인접 변성암류 및 변성염기성암류로부터 대표적인 시료들이 채취되었고 주 원소 및 미량원소 그리고 희토류 원소 조성을 알아보기 위해 캐나다 ACTLABS의 ICP와 ICP/MS를 이용하여 분석하였다.

한편 초염기성암내 산출광물 조성을 알기 위해 감람석, 사방휘석, 각섬석, 첨정석등에 대해 기초과학지원센타의 CAMECA SX-51 EDS를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석조건은 가속전압 15 KV, 시료전류 20 nA, 피크강도 측정시간은 10초 였고 측정된 결과들은 ZAF 보정법으로 보정하였다.

5. 암석 화학

5.1. 초염기성암

주 원소 및 전이 원소 : 신곡 및 계월 암체에 대한 대표적인 분석결과가 Table 1에 있다. 일반적으로 연구지역 초염기성암들은 마그네슘비($Mg=100\times MgO/(MgO+Fe_2O_3(total))$, LOI 그리고 전이원소 및 알칼리 원소 함량에서 두드러진 특징을 보인다.

각각을 살펴보면 신곡 및 계월 암체는 마그네슘비에서 90.38-92.69과 89.74-92.62로 매우 높았으나 암상에 따른 마그네슘비 차이는 명확하지 않았다.

알칼리 원소 함량은 신곡(Al_2O_3 0.47-2.95, Na_2O 0.01-0.25, K_2O 0.01-0.05, CaO 0.01-2.00 wt%)과 계월(Al_2O_3 0.44-2.66, $Na_2O<0.3$, K_2O 0.01-0.11, CaO 0.02-4.66 wt%) 암체 모두 매우 낮았으며 TiO_2(각각, <0.101, <0.107 wt%)와 P_2O_5(각각, <0.17, <0.03 wt%) 또한 낮은 값을 보였다.

하지만 신곡 암체의 경우 감람석을 풍부하게 포함하고 거정질 사방휘석 및 각섬석을 드물게 포함하는 시료들은 거정질 사방휘석 및 각섬석을 다수 포함하는 시료보다 높은 Al_2O_3(2.42-2.95 wt%), CaO(1.33-2.00 wt%), Na_2O(0.13-0.25 wt%) 조성을 보였고 계월 지역의 경우 각섬석이 풍부한 시료는 낮은 *Mg* 비(89.74-90.85), 높은 Al_2O_3(1.88-2.46 wt%), CaO(3.04-4.66 wt%), Na_2O(0.17-0.30 wt%) 조성을 보였다. 이런 지화학적 차이는 광물의 재결정화 작용과 관련된 원소의

Table 1A. Major element analyses of the ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam (wt. %).

Locality	Singok Mass													Kaewol Mass							
Type	PD						PSP			SP				PD			PSP	SP			
Name	OSK6	OSK7	OSK4	NSK6	NSK7	NSK8	OSK1	OSK4	OSK5	OSK2	OSK9	NSK9	NSK10	OKW9	NKW4	NKW5	OKW1	OKW6	OKW10	NKW7	NKW8
SiO_2	41.03	41.08	40.07	41.13	39.35	39.96	39.2	38.3	40.82	39.99	38.71	39.28	38.57	41.31	44.75	42.53	39.82	39.6	37.54	37.21	39.28
TiO_2	0.010	0.010	0.101	0.098	0.026	0.007	0.040	0.010	0.010	0.010	0.020	0.070	0.004	0.020	0.107	0.0659	0.030	-	0.020	-	0.010
Al_2O_3	1.12	1.29	2.42	2.95	1.31	1.29	0.85	0.47	1.22	0.50	0.71	0.94	0.50	0.82	2.46	1.88	0.77	0.67	1.50	0.44	0.56
Fe_2O_3*	8.02	6.69	7.97	7.69	7.6	6.37	8.37	8.03	7.27	3.99	8.26	7.03	7.96	7.36	7.65	7.19	7.81	6.26	8.34	8.12	0.78
MnO	0.100	0.110	0.116	0.108	0.103	0.113	0.100	0.040	0.11	0.04	0.070	0.046	0.059	0.110	0.117	0.068	0.110	0.100	0.100	0.064	0.108
MgO	40.31	40.41	39.88	38.42	41.54	40.7	39.64	40.86	39.85	41.04	40.27	40.76	40.62	39.59	33.74	35.98	39.86	39.61	39.25	41.05	40.2
CaO	0.45	0.43	1.33	2.00	0.39	0.95	0.21	0.04	0.33	0.01	0.05	0.01	0.01	2.07	4.66	3.04	0.16	0.02	-	0.02	0.03
Na_2O	0.09	0.06	0.13	0.25	0.04	0.07	0.04	0.04	0.06	0.01	0.04	<0.01	0.01	0.09	0.3	0.17	0.04	-	0.05	0.01	<0.01
K_2O	0.04	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.11	0.05	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02
P_2O_5	-	-	0.01	0.01	<0.01	<0.01	-	-	0.11	-	0.17	<0.01	<0.01	-	0.02	0.03	-	-	-	<0.01	0.02
LOI	9.52	10.29	8.89	7.80	9.98	9.90	12.17	13.06	11.07	13.11	12.51	12.36	12.45	9.46	6.35	9.43	12.01	12.58	12.02	13.55	12.64
Total	100.7	100.39	100.96	100.51	100.36	99.38	100.64	100.87	100.88	98.71	100.83	100.53	100.21	100.86	100.27	100.32	100.62	98.85	98.85	100.5	100.5
Mg	90.98	92.30	90.85	90.83	91.55	92.69	90.38	90.98	91.58	95.33	90.63	92.00	91.01	91.43	89.74	90.85	91.01	92.62	90.32	90.93	91.32

*Abbreviations; PD, PSP and SP in the text. *– means below detection limit. *Fe_2O_3*is total iron. *Mg is equal to $100\times MgO/(MgO+Fe_2O_3(t))$ (molecular proportion).

Table 1B. Trace element analyses of the ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam (in ppm).

Locality	Singok Mass													Kaewol Mass							
Type	PD						PSP			SP				PD			PSP	SP			
Name	OSK6	OSK7	OSK4	NSK6	NSK7	NSK8	OSK1	OSK4	OSK5	OSK2	OSK9	NSK9	NSK10	OKW9	NKW4	NKW5	OKW1	OKW6	OKW10	NKW7	NKW8
Rb	-	-	5	2	1	1	-	-	-	-	-	3	4	-	2	1	-	-	-	3	2
Ba	6	3	7	8	5	3	18	6	3	3	5	3	9	3	8	14	2	4	4	3	15
Th	-	0.21	0.65	0.14	0.10	0.06	0.13	0.13	-	-	0.07	0.06	0.11	0.07	0.16	0.11	0.08	0.05	0.38	<0.05	0.1
Nb	-	-	0.7	0.6	0.3	0.4	-	-	-	-	-	<0.2	<0.2	-	0.5	0.5	-	-	-	<0.2	<0.2
Sr	5	3	13	8	2	6	9	2	3	1	3	<2	<2	5	34	20	4	1	1	<1	2
Zr	4	1	19	13	10	7	4	2	2	13	2	9	8	1	11	10	3	1	2	7	8
Hf	-	-	0.4	0.2	<0.1	<0.1	0.1	-	-	0.4	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	0.1	-	-	-	<0.1	<0.1
Y	0.8	0.5	2.6	3.2	0.6	<0.5	0.8	-	0.7	-	-	<0.5	<0.5	1.5	5.0	3.0	0.50	0.6	1.7	<0.5	1
La	0.18	0.19	1.22	0.35	0.17	0.11	0.56	0.29	0.15	0.09	0.31	0.12	0.07	0.17	1.91	1.55	0.35	0.19	0.56	0.05	1.03
Ce	0.3	0.4	2.8	1.0	0.4	0.25	1.0	0.4	0.3	0.10	0.50	0.27	0.13	0.40	4.08	3.15	0.60	0.3	0.9	0.09	1.9
Pr	0.04	0.06	0.35	0.16	0.05	0.03	0.13	0.05	0.04	0.02	0.06	0.04	0.01	0.08	0.53	0.38	0.08	0.05	0.13	<0.01	0.22
Nd	0.16	0.23	1.61	0.8	0.24	0.15	0.53	0.16	0.19	0.06	0.26	0.14	<0.05	045	2.58	1.69	0.30	0.19	0.47	<0.05	0.84
Sm	0.04	0.04	0.39	0.26	0.05	0.03	0.12	0.02	0.04	0.02	0.05	0.03	<0.01	0.16	0.71	0.37	0.07	0.05	0.08	0.01	0.17
Eu	0.02	0.024	0.106	0.093	0.029	0.017	0.039	0.011	0.017	0.01	0.024	0.009	<0.005	0.037	0.249	0.177	0.022	0.014	0.038	0.007	0.062
Gd	0.10	0.10	0.42	0.36	0.07	0.04	0.14	0.10	0.17	0.05	0.07	0.02	<0.01	0.23	0.92	0.40	0.15	0.17	0.66	<0.01	0.18
Tb	0.01	-	0.07	0.08	0.01	<0.01	0.02	-	-	-	-	<0.01	<0.01	0.04	0.16	0.07	0.01	-	-	<0.01	0.03
Dy	0.09	0.04	0.41	0.51	0.09	0.05	0.11	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	<0.01	0.25	0.99	0.39	0.06	0.04	0.05	<0.01	0.15
Ho	0.02	0.01	0.09	0.11	0.02	<0.01	0.02	-	-	-	-	<0.01	<0.01	0.05	0.20	0.08	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.03
Er	0.07	0.04	0.27	0.34	0.06	0.04	0.07	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	<0.01	0.14	0.60	0.26	0.03	0.03	0.04	<0.01	0.11
Tm	0.01	0.007	0.041	0.052	0.009	0.008	0.009	-	0.006	-	-	<0.005	<0.005	0.022	0.083	0.037	-	0.005	-	<0.005	0.016
Yb	0.07	0.05	0.27	0.35	0.07	0.06	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03	0.01	0.12	0.51	0.21	0.03	0.03	0.03	0.01	0.1
Lu	0.013	0.01	0.039	0.053	0.013	0.01	0.011	0.002	0.009	0.002	0.002	0.005	<0.002	0.018	0.064	0.032	0.007	0.007	0.005	0.003	0018
Cr	2810	2450	1010	2260	2420	2580	2600	2760	2100	2540	2560	1990	1710	2300	4400	2230	2830	2540	3570	2140	1970
Ni	1280	1080	595	963	1980	1480	2610	1350	872	1640	1950	687	934	1350	777	722	2480	1800	2350	2170	1760
Co	62	48	36	58	104	78	120	55	37	57	82	30	48	63	39	38	105	87	100	111	97
V	30	31	52	64	38	37	26	17	21	15	13	16	14	33	69	35	36	23	42	23	24
Sc	7	8	11	12	9	9	4	2	7	2	1	5	5	6	9	6	7	6	4	7	7
Cu	-	-	17	23	<10	<10	-	-	-	19	41	<10	<10	-	<10	<10	22	28	-	15	<10
Zn	57	-	<30	<30	<30	<30	81	-	-	42	53	<30	<30	33	<30	<30	71	-	-	40	<30
Ga	-	-	1	2	1	1	-	-	-	-	-	<1	<1	-	2	<1	1	-	2	<1	1
As	-	-	<5	<5	<5	<5	-	-	6	11	7	>5	<5	-	<5	<5	-	-	-	<5	<5
Ta	-	-	0.05	<0.01	0.02	<0.01	-	-	-	-	-	<0.01	0.04	-	0.06	0.04	-	-	-	<0.01	<0.01
Pb	-	-	<5	<5	33	<5	-	-	-	-	-	<5	<5	-	<5	<5	-	-	-	<5	<5
U	0.06	0.05	0.12	0.08	0.06	0.03	0.06	0.06	0.23	0.07	0.41	0.05	0.17	-	0.16	0.13	-	-	0.07	0.23	0.14
Mo	-	-	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-	-	-	<0.2	<0.2	-	<2	<2	-	-	-	<2	<2
Tl	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.41	-	-	0.11	-	<0.05	<0.05	-	<0.05	<0.05	0.06	0.12	-	<0.05	0.10
Bi	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	-	<0.1	<0.1	-	0.07	-	<0.1	0.2
Sb	0.4	-	0.6	0.3	6.9	0.3	0.3	-	-	0.4	-	0.2	0.4	-	0.2	0.3	-	0.3	0.4	2.7	0.4
CS	0.3	0.1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	0.5	0.4	0.3	1.0	1.5	0.2	0.5	0.4	0.6	0.3
Be	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-	<1	<1	-	-	-	<1	<1

*Abbreviations; PD, PSP and SP in the text. *- means below detection limit.

함량변화 때문으로 생각된다.

전이원소 함량의 경우 두 암체에서 각각 높은 Ni(595-2610, 722-2480 ppm), Cr(1010-2760, 1970-4400 ppm), Co(36-120, 88-111 ppm) 원소 함량을 보였고 비교적 낮은 V(13-64, 23-69 ppm), Sc(1-12, 4-9 ppm) 함량을 나타냈다.

하지만 신곡 암체의 경우 거정질 사방휘석 및 각섬석을 드물게 포함하는 시료는 낮은 Ni(595-963 ppm), Co(36-58 ppm), 높은 V(52-64 ppm), Sc(11-12 ppm) 값을 보였고, 계월 지역 각섬석이 풍부한 시료는 낮은 Ni(722-777 ppm), Co(36-39 ppm), 높은 V(35-69 ppm) 값을 보였다. 변질정도에 관계없이 SP를 제외하고 나머지 시료에서 감람석을 다량 함유하는 것들은 비교적 높은 Ni, Cr, Co 값을 보였다. 또한 계월지역의 PD형은 SP 및 PSP형에 비해 Ni, Co 함량이 낮았으며 신곡지역 PD형은 SP형에 비해 약간 높은 V와 Sc 함량을 보였다.

변질정도에 따라 차이를 보였는데 LOI 값은 SP, PSP, PD로 갈수록 신곡은 12.36-13.11, 11.07-13.06, 7.8-10.29로 계월은 12.02-13.55, 12.01, 6.35-9.46로 감소했다.

이런 전체적인 신곡 및 계월 초염기성암들이 보이는 낮은 알칼리 원소 함량, 높은 마그네슘비 및 전이 원소 함량은 기존의 인접 비봉 및 광시 지역의 것들(Song *et al.*, 1997) 및 전형적인 상부 맨틀 포획암(Griffin *et al.*, 1988; O'Reilly and Griffin, 1988;

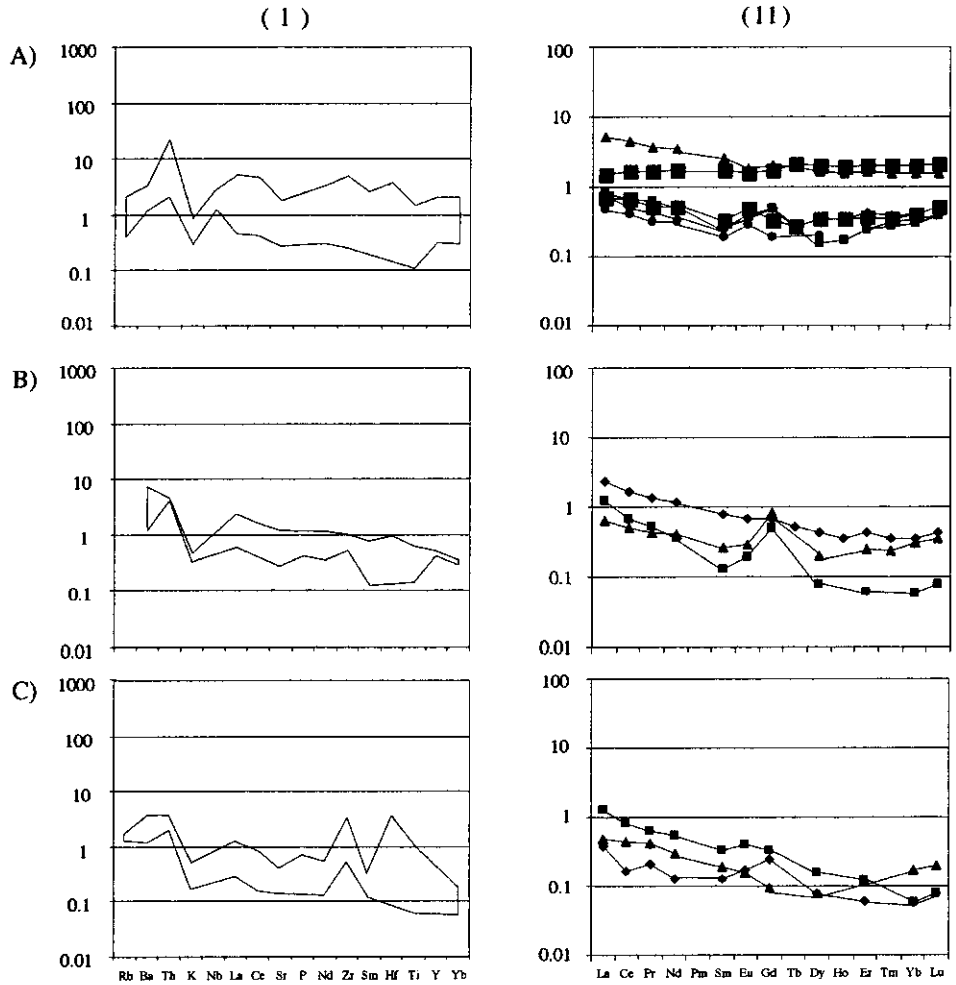

Fig. 3. Chondrite normalized incompatible element (I) and REE (II) patterns for the Singok ultramafic rock mass, western part of Chungnam. A) for PD, B) for PSP and C) for SP. Chondrite values from Sun and McDonough (1989). All abbreviations are in the text.

McDonough, 1990), 그리고 전세계적인 알파인형 초염기성암의 결과치(Dymek *et al.*, 1988)와 유사했다.

그 외의 미량 및 희토류 원소 : 대표적인 분석결과가 Table 1에 있다. 일반적으로 낮은 LFSE(Low Field Strength Element) 값과 원소의 다양한 함량 변화가 특징적이었고 변질의 정도 차이에 따라 원소 함량 조성에서 차이를 보았다.

신곡 및 계월 암체의 경우 Rb(각각, <2, <3 ppm), Ba(3-9, 2-15 ppm), Sr(1-13, 1-34 ppm) 원소가 낮거나 넓은 범위의 함량 변화를 보였다. 하지만 신곡 지역의 거정질 사방휘석 및 각섬석을 드물게 포함하는 시료 및 계월 지역의 각섬석이 풍부한 시료는 Rb(2-5, 1-2 ppm), Ba(7-8, 8-14 ppm), Sr(8-13, 20-34 ppm) 값에서 타 시료에 비해 약간 높은 값을 보였다. 이런 지화학적 차이는 광물의 재결정화 작용과 관련된 원소의 함량변화 때문으로 생각된다.

희토류의 조성에서 대부분의 PD 및 PSP가 SP에 비해 높았고 PD가 PSP에 비해 약간 높은 함량을 보였으며, 신곡 지역의 거정질 사방휘석, 각섬석을 드물게 포함하는 시료 및 계월 지역의 각섬석이 풍부한 시료는 대부분 원소에서 높았다.

운석 조성치로 표준화한 비호정 원소 빈도결과에서 전체적으로 모든 초염기성암들은 LFSE가 HFSE (High Field Strength Element)에 비해 부화되어 나타났으며 사문암화가 더 진행될수록 HFSE에 비해 LFSE 빈도가 부화되어 나타났고 PD 형은 평행한 분포경향을 보였다(Figs. 3, 4).

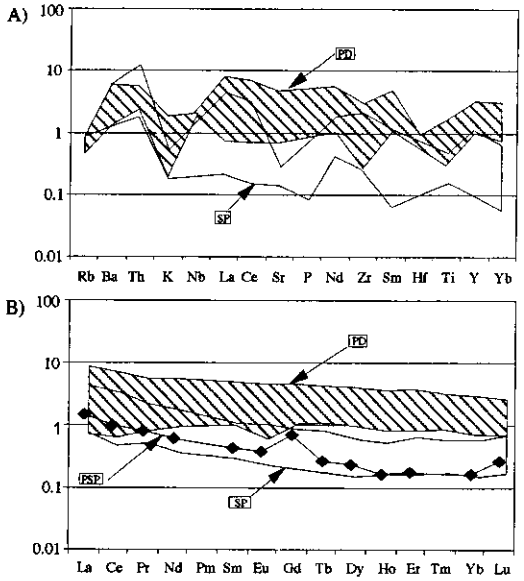

Fig. 4. Chondrite normalized incompatible element (A) and REE (B) patterns for the Kaewol ultramafic rock mass, western part of Chungnam. Chondrite values from Sun and McDonough (1989). All abbreviations are in the text.

희토류 원소 조성에서도 변질에 따른 차이가 두드러졌는데 사문암화가 진행될수록 HREE에 비해 LREE가 부화되어 나타났고 PD형은 평행한 분포경향을 보였다(Figs. 3, 4). 이런 경향은 인접 비봉, 광시지역 초염기성암에서 보여주는 각 암상의 차이에 따른 원소 빈도의 변화 특성(Song *et al.*, 1997)과 유사하다.

Table 2A. Major element analyses of the gneiss complex from the Singok area, western part of Chungnam (wt. %).

Type	MSS				MBS						GN		
Name	MSK1	MSK2	MSK3	MKW1	MKW2	MKW3	MKW4	MKW5	MKW6	MKW7	GSK1	GSK2	GSK3
SiO_2	45.99	45.02	54.84	47.82	48.60	46.00	44.32	47.41	45.15	43.96	69.77	72.53	73.08
TiO_2	1.72	1.851	1.033	0.617	0.21	0.16	0.24	0.158	0.368	0.954	0.531	0.297	0.26
Al_2O_3	14.77	13.84	15.99	15.4	9.15	16.86	15.1	14.63	15.78	12.99	11.34	12.84	12.40
$Fe_2O_3^*$	11.74	11.79	8.40	10.66	7.52	5.31	7.31	6.06	8.17	11.85	5.11	4.13	3.59
MnO	0.18	0.217	0.134	0.164	0.13	0.10	0.135	0.106	0.134	0.159	0.067	0.072	0.058
MgO	8.36	9.06	3.61	7.11	19.45	12.07	13.42	13.78	11.14	13.43	2.66	0.29	0.05
CaO	11.48	12.16	6.15	12.26	11.83	15.24	14.13	10.00	13.68	11.77	2.03	0.96	1.04
Na_2O	2.55	1.6	3.42	1.90	1.48	1.02	1.30	1.24	1.47	1.81	2.80	2.78	2.66
K_2O	0.67	1.44	3.33	1.57	0.31	1.08	0.80	2.80	1.03	0.34	2.18	5.65	5.29
P_2O_5	0.20	0.28	0.33	0.05	0.01	0.15	0.06	0.02	0.01	0.07	0.07	0.06	0.03
LOI	1.98	1.46	0.98	1.28	2.10	2.44	2.05	2.33	2.04	1.36	2.36	0.74	0.44
Total	99.64	98.71	98.21	98.83	100.79	100.43	98.86	98.53	99.07	98.69	98.91	100.36	98.92
Mg	58.54	60.38	46.01	56.95	83.69	81.84	78.45	81.85	73.00	69.21	50.80	12.22	2.69

Fe_2O_3 is total iron. *Mg is equal to $100\times MgO/(MgO+Fe_2O_3(t))$ (molecular proportion). *MSS for Metasediment, MBS for Metabasite and GN for Gneiss.

Table 2B. Trace element analyses of the gneiss complex from the Singok area, western part of chungnam (in ppm).

Type	MSS				MBS						GN		
Name	MSK1	MSK2	MSK31	MKW1	MKW2	MKW3	MKW4	MKW5	MKW6	MKW7	GSK1	GSK2	GSK3
Rb	11	76	132	65	-	59	40	147	52	7	91	178	179
Ba	127	343	948	96	26	54	138	631	76	50	566	1190	969
Th	2.13	3.8	20.1	<0.1	0.07	0.05	<0.1	<0.1	0.2	0.2	17.8	24.2	18.8
Nb	13	32	18	<1	0.8	-	<1	<1	<1	2	23	58	63
Sr	338	352	593	216	44	319	324	163	344	105	274	150	69
Zr	108	258	347	38	6	2	18	13	23	40	231	612	561
Hf	2.6	6	8.2	0.9	0.5	0.2	0.3	<0.2	0.5	1.1	6.7	15.7	14.7
Y	20	34	32	22	23	6.5	9	5	13	20	47	96	79
La	0	47.1	45.6	1.5	1.92	0.39	0.6	0.5	1.1	2	61.6	194	181
Ce	100	89.7	94.7	3.1	5.6	0.7	1.4	0.9	2.3	5.3	120	354	268
Pr	4.8	9.65	9.91	0.16	0.95	0.14	0.22	0.15	0.41	0.89	13	35.6	31.9
Nd	20.5	38.8	39.4	3.6	5.32	0.89	1.3	0.8	2.3	4.8	48.4	131	110
Sm	4.23	7.6	7.5	1.4	1.88	0.4	0.5	0.3	0.9	1.7	9	21.5	18.2
Eu	1.374	2.84	2.06	0.68	1.036	0.318	0.37	0.31	0.5	0.7	1.08	2.63	2.81
Gd	4.11	7.5	6.8	2.3	2.42	0.64	0.9	0.5	1.4	2.6	8.7	19.6	18.2
Tb	0.65	1.1	1	0.5	0.55	0.15	0.2	0.1	0.3	0.5	1.3	2.9	2.7
Dy	3.69	6.3	5.5	3.2	3.6	1.04	1.4	0.7	2	3.3	7.8	17.1	15
Ho	0.72	1.3	1.1	0.8	0.81	0.22	0.3	0.2	0.5	0.8	1.7	3.6	3.1
Er	2.05	3.3	3.1	2.4	2.51	0.71	1	0.5	1.5	2.3	4.8	10.6	8.3
Tm	0.282	0.43	0.44	0.34	0.365	0.105	0.14	0.08	0.22	0.32	0.69	1.58	1.15
Yb	1.7	2.9	2.9	2.3	2.21	0.65	0.9	0.5	1.4	2.1	4.2	10.2	7.4
Lu	0.253	0.41	0.41	0.36	0.347	0.106	0.15	0.08	0.23	0.32	0.56	1.45	1.08
Cr	243	332	67	426	1440	2440	1360	1400	712	621	143	35	<20
Ni	61	202	<20	78	435	323	199	338	248	310	52	38	<20
Co	25	61	24	34	59	39	43	40	52	59	16	<1	<1
V	213	219	175	288	141	166	203	127	210	294	76	6	<5
Sc	31	27	19	43	79	14	48	33	43	46	12	5	5
Cu	36	34	126	55	27	-	18	15	80	<10	<10	<10	<10
Zn	-	63	94	<30	48	-	31	<30	52	58	54	<30	74
Ga	11	20	23	12	5	12	11	8	13	12	17	20	27
As	-	<5	<5	<5	-	-	<5	9	<5	<5	<5	<5	<5
Ta	2.8	1.9	1.3	<0.1	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	4	3.7
Pb	-	11	22	<5	-	-	10	<5	7	20	10	<5	16
U	0.61	1	3	<0.1	-	-	0.2	<0.1	0.2	0.1	1.6	2.1	1.7
Mo	-	<2	<2	<2	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tl	-	0.4	0.8	0.2	0.12	0.36	0.2	0.3	0.4	<0.1	0.7	<0.1	0.7
Bl	-	<0.4	1	<0.4	0.17	0.11	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
SB	0.3	1.2	1.4	<0.5	0.2	0.3	4.6	1.5	3	0.7	1.1	<0.5	0.9
CS	0.8	1.5	2.4	4.8	0.1	1.4	2.5	2.8	0.9	<0.5	1.8	2.6	1.2
Be	2	2	<1	<1	-	-	<1	<1	<1	<1	3	2	2

*MSS for metasediment, MBS for metabasite and GN for gneiss. *-- means below detection limit.

5.2. 주변암석

주 원소 및 전이 원소 : 대표적인 편마암류, 변성퇴적암류 및 염기성암류의 분석결과가 Table 2에 있다. 일반적으로 변성 퇴적암류 및 염기성암류들은 초염기성암에 비해 높은 알칼리(Na_2O=1.02-3.42, K_2O=0.2-2.8, CaO=6.15-15.24 wt%) 및 기타원소 함량(SiO_2=43.96-48.60, TiO_2=0.16-1.85 wt%)를 보였고 낮은 마그네슘비(46.01-83.69)를 보였다. 편마암류는 연구지역에서 제일 높은 SiO_2(69.77-73.08 wt%)와 K_2O(2.18-5.65 wt%)조성을 보였고 변성 퇴적암류 및 염기성암

류보다 낮은 MnO(0.058-0.072 wt%)함량과 마그네슘비(<50.80)를 보였다. 변성 염기성암은 변성 퇴적암류에 비해 높은 마그네슘비(<69.21), 낮은 TiO_2 (<0.21 wt%) 및 Na_2O(<1.48 wt%) 함량을 보였다.

전이원소 함량에서 변성 퇴적암류 및 염기성암류는 초염기성암에 비해 낮은 Ni(20-435 ppm), Cr(67-2440 ppm), Co(24-61 ppm) 함량과 높은 Sc(19-79 ppm), V(141-219 ppm) 함량을 보였다. 편마암류는 변성 퇴적암류 및 염기성암류 그리고 초염기성암에 비해 낮은 Ni(<52 ppm), Cr(<143 ppm) 및 Co(<16 ppm) 함량을 보였으며, 변성 퇴적암류 및 염기성암류보다 낮은 Sc(<12 ppm), V(<76 ppm)함량을 보인다. 또한 변성 염기성암과 변성 퇴적암류의 비교에서 변성 염기성암은 높은 Cr(712-2440 ppm), Ni(199-435 ppm)함량을 나타냈다.

그외의 미량 및 희토류 원소 : 대표적인 분석결과가 Table 2에 있다. 일반적으로 초염기성 암체에 비해 높은 비호정성원소의 함량과 부화된 LFSE 및 LREE (Light Rare Earth Element) 특징이 두드러졌다.

변성 퇴적암류 및 염기성암은 초염기성암에 비해 높은 Rb(7-147 ppm), Ba(26-948 ppm), Sr(44-593 ppm) 함량을 보였고, 편마암류는 모든 암체 중 제일 높은 Rb(91-179 ppm), Ba(566-1190 ppm), Sr(69-274 ppm) 함량을 보였다. 이들 원소에 대한 변성 퇴적암류 및 염기성암 사이의 차이는 명확하지 않았다. 희토류 원소 조성의 경우 변성 퇴적암류 및 염기성암류가 편마암류에 비해 부화된 특성을 보였고, 변성 퇴적암류에 비해 변성 염기성암류가 결핍된 특성을 보였다.

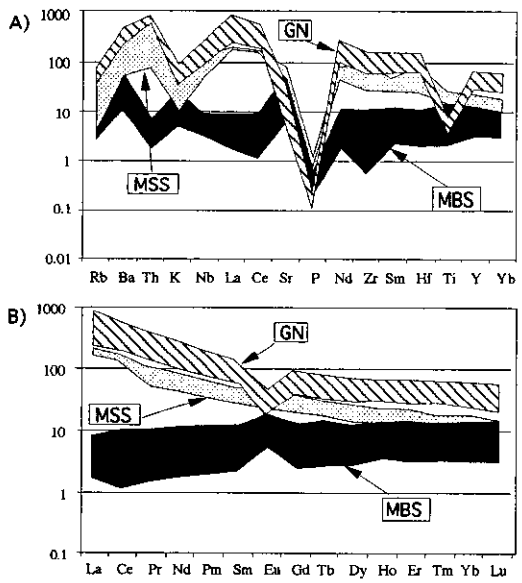

Fig. 5. Chondrite normalized incompatible element (A) and REE (B) patterns for the gneiss complex from the Singok area, western part of Chungnam. Chondrite values from Sun and McDonough (1989). MSS for metasediment, MBS for metabasite and GN for gneiss.

운석조성치로 표준화한 비호정성원소 빈도결과가 Fig. 5에 있다. 그림에서와 같이 편마암류, 변성 퇴적암류 및 염기성암류는 대부분 비호정성원소 함량에서 초염기성암에 비해 높았고 LFSE가 HFSE에 비해 약간 부화되어 있었다. 운석조성치로 표준화한 희토류 원소 조성의 빈도수에서 편마암류 및 변성 퇴적암류는 LREE가 약간 부화된 특징을 보였고 이런 경향은 편마암류에서 두드러졌다(Fig. 5).

6. 광물 조성

6.1. 원암의 광물

감람석 : 이 광물은 야외에서 옅은 녹색을 띄며 경하에서는 등립질 또는 입상 형태로 산출된다. PD 및 PSP 유형에서 등립질 결정은 부분적 또는 일부가 사문암화 되었고 입상 결정은 거의 사문암화 작용을 받지 않았다. 산출상에 관계없이 이들 광물들은 높고 제한적인 포스테라이트 $Fo_{0.88\sim0.93}$ 조성을 보였고, 비교적 높은 NiO(0.266~0.517 wt%) 조성 및 매우 낮은 Al_2O_3와 K_2O조성을 보였다(Table 3A).

전암 조성과의 관계를 고려해볼 때(Table 1) 전체적으로 변질의 차이에 의한 암상 함량차이가 광물에서 명확하지는 않았다. 하지만 전암에서 높은 마그네슘비를 보이는 일부 시료들은 감람석 결정에서도 비교적 높은 비를 보였다. 즉 마그네슘비에서 NKW4 시료는 전암에서 89.74, 감람석에서 88.14-88.42 값을 보였고 OKW 9 시료는 전암에서 91.43, 감람석에서 90.43-90.47 값을 보였다.

사방휘석 : 이 광물은 격리된 단결정, 거정질 또는 재결정된 입상 형태로 산출된다. 이들 광물들은 브론자이트(En0.93-0.97)의 제한적인 광물조성을 가지나 (Table 3B) 주원소에서 거정질의 광물과 재결정된 광물 사이 및 거정질 광물내에서 부분에 따른 성분차이가 보였다.

즉 NSK7의 경우 거정질 사방휘석은 높은 Al_2O_3 (1.97-2.94 wt%), Na_2O(0.016-0.055 wt%), 낮은 SiO_2 (55.7-55.9 wt%), MgO(34.7-35.1 wt%)조성을 보이나 재결정에 의해 형성된 광물들은 낮은 Al_2O_3(0.597-1.086 wt%), Na_2O(<0.004 wt%), 높은 SiO_2(56.6-57.8 wt%),

Table 3A. Representative analyses of the olivines for the ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam.

Locality	Singok Mass								Kaewol Mass							
Type	PD						SP		PD						PSP	
Number	NSK6A1	NSK6B1	NSK7A1	NSK7B1	NSK7C1	NSK7C2	OSK1A1	OSK1A2	NKW4A1	NKW4A2	NKW5A1	NKW5A2	OKW9A1	OKW9A3	OKW1A1	OKW1A2
SiO_2	40.627	39.814	40.739	41.367	40.304	41.776	40.916	40.933	40.364	41.091	42.114	42.195	41.660	41.278	41.857	41.900
Al_2O_3	0.000	0.004	0.000	0.000	0.006	0.008	0.002	0.011	0.002	0.002	0.011	0.009	0.019	0.009	0.017	0.008
TiO_2	0.015	0.020	0.015	0.007	0.000	0.015	0.005	0.000	0.023	0.012	0.023	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
FeO*	9.555	9.511	8.490	8.718	8.928	8.902	9.359	9.535	11.024	11.491	6.196	6.464	9.310	9.512	6.414	6.116
MgO	49.419	49.976	49.829	49.545	49.772	49.477	48.780	48.656	47.21	47.880	51.505	51.440	48.963	49.167	50.966	51.025
MnO	0.150	0.080	0.086	0.101	0.066	0.056	0.218	0.094	0.137	0.194	0.119	0.071	0.191	0.134	0.108	0.512
CaO	0.001	0.013	0.022	0.013	0.000	0.000	0.020	0.000	0.010	0.001	0.007	0.000	0.038	0.000	0.020	0.000
Na_2O	0.000	0.008	0.038	0.000	0.023	0.016	0.000	0.000	0.001	0.000	0.020	0.012	0.007	0.012	0.011	0.024
K_2O	-	-	-	-	-	-	0.000	0.024	0.007	0.001	0.01	0.001	0.000	0.005	0.019	0.007
Cr_2O_3	-	-	-	-	-	-	0.000	0.000	0.013	0.000	0.016	0.000	0.010	0.000	0.000	0.028
NiO	0.356	0.266	0.422	0.346	0.444	0.414	0.405	0.445	0.462	0.282	0.375	0.434	0.419	0.368	0.426	0.410
Total	100.12	99.69	99.64	100.10	99.54	100.66	99.70	99.70	99.25	100.95	100.40	100.60	100.62	100.49	99.84	99.67
									N(6)							
Si	0.9931	0.9741	0.9964	1.0072	0.9874	1.0115	1.0045	1.0053	1.0035	1.0047	1.0104	1.0106	1.0117	1.0051	1.0112	1.0125
Al	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003	0.0005	0.0003	0.0005	0.0002
Ti	0.0003	0.0004	0.0003	0.0001	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000	0.0004	0.0002	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fe(2)	0.1820	0.1433	0.1652	0.1775	0.1569	0.1803	0.1921	0.1969	0.2292	0.2350	0.1243	0.1298	0.1891	0.1937	0.1296	0.1236
Fe(3)	0.0133	0.0513	0.0085	0.0000	0.0260	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	1.8012	1.8232	1.8172	1.7987	1.8182	1.7862	1.7856	1.7819	1.7500	1.7455	1.8425	1.8385	1.7730	1.7852	1.8358	1.8385
Mn	0.0031	0.0017	0.0018	0.0021	0.0014	0.0011	0.0045	0.0020	0.0029	0.0040	0.0024	0.0014	0.0039	0.0028	0.0022	0.0031
Ca	0.0000	0.0003	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0010	0.0000	0.0005	0.0000
Na	0.0000	0.0004	0.0018	0.0000	0.0011	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0006	0.0003	0.0006	0.0005	0.0011
K	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0008	0.0002	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0002	0.0006	0.0002
Cr	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0005
Ni	0.0088	0.0053	0.0083	0.0068	0.0088	0.0081	0.0080	0.0088	0.0092	0.0055	0.0072	0.0084	0.0082	0.0072	0.0083	0.0080
Mg	90.82	92.71	91.67	91.02	92.06	90.83	90.28	90.10	88.42	88.14	93.68	93.41	90.36	90.21	93.41	93.70

FeO is total iron. Fe^{+2} and Fe^{+3} contents are calculated with stoichitometry. *Mg* is equal to 100×MgO/(MgO+FeO). N(–) means number of oxygen. Abbreviations; PD, PSP and SP in the text.

Table 3B. Representative analyses of the orthopyroxenes of the ultramafic rock from the Singok area, western part of Chungnam.

	Singok Mass													Kaewol Mass	
Type	PD										PSP			PD	
Number	NSK7A1	NSK7A2	NSK7B1	NSK7B2	NSK7B3	NSK7B4	NSK7C1	NSK7D1	NSK7D2	SK6A2	OSK1A1	OSK1A2	OSK1A1	OKW5A1	OKW5A2
Char.	Iso	Iso	Por	Por	Rec	Rec	Por	Core	Rim	Rec	Rec	Rec	Por	Por	Rec
SiO_2	56.982	56.914	55.996	55.827	56.614	56.792	56.270	54.881	56.270	56.415	57.429	57.196	57.080	57.667	59.454
Al_2O_3	1.296	1.459	2.649	2.948	0.792	1.086	1.905	3.033	1.905	0.858	0.964	0.854	1.64	1.733	0.181
TiO_2	0.007	0.013	-	0.053	0.047	0.013	0.032	0.055	0.032	0.062	0.002	-	0.037	-	-
FeO*	5.975	6.170	5.904	6.124	5.945	5.855	6.010	6.046	6.010	6.373	6.424	6.379	6.738	6.347	4.002
MgO	35.179	35.071	35.071	34.557	35.524	35.202	34.717	34.140	34.717	35.095	34.330	33.984	34.581	34.526	36.839
MnO	0.146	0.126	0.077	0.158	0.141	0.102	0.123	0.108	0.123	0.182	0.165	0.190	0.132	0.196	0.173
CaO	0.128	0.138	0.148	0.126	0.165	0.120	0.112	0.193	0.112	0.151	0.199	0.218	0.127	0.165	0.136
Na_2O	0.013	0.008	0.004	0.016	0.004	-	-	0.019	0.000	-	-	0.016	-	0.009	0.000
K_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.011	-	-	0.004
Cr_2O_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.174	0.167	0.646	0.441	0.000
NiO	0.0220	0.101	0.028	0.07	0.036	0.092	0.074	0.120	0.074	-	0.130	0.061	0.045	0.081	0.079
Total	99.75	100.00	99.82	99.88	99.27	99.26	99.24	98.60	99.25	99.14	99.68	99.08	101.03	101.17	101.01
								N(6)							
Si	1.9603	1.955	1.9222	1.9193	1.9546	1.9625	1.9468	1.9107	1.9486	1.9546	1.9826	1.9886	1.9509	1.9645	2.0072
Al	0.0526	0.0591	0.1072	0.1195	0.0322	0.0442	0.0777	0.1245	0.0777	0.0350	0.0392	0.0350	0.0661	0.0696	0.0072
Ti	0.0002	0.0003	-	0.0014	0.0012	0.0003	0.0008	0.0014	0.0008	0.0016	0.0005	-	0.0010	-	0.0000
Fe(2)	0.1465	0.1548	0.1232	0.1417	0.1183	0.1467	0.153	0.1336	0.1530	0.1322	0.1855	0.1855	0.1835	0.1808	0.1127
Fe(3)	0.0255	0.0224	0.0463	0.0344	0.0533	0.0225	0.0209	0.0424	0.0209	0.0524	0.0000	0.0000	0.0091	0.0000	0.0000
Mg	1.8046	1.7963	1.7924	1.7715	1.8288	1.8138	1.791	1.7723	1.7910	1.8131	1.7672	1.7618	1.7623	1.7538	1.8501
Mn	0.0043	0.0037	0.0022	0.0046	0.0041	0.003	0.0036	0.0032	0.0036	0.0053	0.0048	0.0056	0.0038	0.0057	0.0049
Ca	0.0047	0.0051	0.0054	0.0046	0.0061	0.0044	0.0042	0.0072	0.0042	0.0056	0.0074	0.0081	0.0047	0.0060	0.0049
Na	0.0009	0.0005	0.0003	0.0011	0.0003	-	-	0.0013	0.0000	-	-	0.0011	-	0.0006	0.0000
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0005	0.0005	-	-	0.0002
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0048	0.0046	0.0175	0.0119	0.0000
Ni	0.0006	0.0028	0.0008	0.0019	0.001	0.0026	0.0021	0.0034	0.0021	-	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000
Ca	0.57	0.33	0.21	0.73	0.22	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.32	0.25
Fe	3.10	3.17	4.22	3.15	4.90	2.94	2.64	5.07	2.64	4.07	3.82	4.17	2.47	3.22	5.73
Mg	96.33	96.50	95.57	96.13	94.89	97.06	97.36	94.03	97.36	95.93	96.18	95.27	97.53	96.47	94.02

#Some abbreviations in the Table 3A are used. # Iso for Isolated, Rec for Recrystallized and Por for Porphyroclastic grains.

Table 3C. Representative analyses of the amphibole(a) and spinel(b) of the ultramafic rock from the Singok area, western part of Chungnam.

a)

Number	OSK1A1	OSK1A2	NSK7A1	NSK5A1	NSK5B1	NKW4A1	NKW4A3	NKW5A1	NKW5A2	NKW9A1	NKW6A1	NKW6A2	NKW6A3
SiO_2	50.378	48.425	50.740	44.258	53.039	51.022	52.451	56.323	56.024	55.716	44.546	44.251	44.405
TiO_2	0.335	0.036	0.042	1.094	0.305	0.257	0.225	0.018	0.047	0.027	1.153	1.089	0.976
Al_2O_3	7.696	9.653	0.508	11.064	3.252	6.713	5.230	2.982	3.197	2.481	11.679	12.009	12.366
Cr_2O_3	0.794	1.358	-	0.237	0.130	0.957	0.679	0.000	0.085	0.194	0.038	0.098	0.072
FeO	2.832	2.761	1.292	15.681	12.587	4.033	3.506	2.527	2.636	2.732	11.415	11.656	12.288
MnO	0.05	0.000	0.124	0.252	0.143	0.034	0.048	0.048	0.034	0.098	0.207	0.238	0.181
MgO	20.449	19.633	27.129	10.665	15.553	20.106	20.797	22.455	22.132	22.376	13.719	13.565	13.525
CaO	12.184	12.121	16.737	12.128	12.544	12.594	12.636	12.765	12.720	12.804	11.805	11.757	11.781
K_2O	0.171	0.155	-	0.602	0.102	0.334	0.229	0.023	0.000	0.042	0.259	0.242	0.214
Na_2O	1.587	1.986	0.061	1.499	0.387	1.298	1.023	0.187	0.252	0.359	1.934	1.913	1.952
Total	96.48	96.45	96.63	97.35	98.00	97.35	96.84	97.324	97.12	96.81	96.76	96.79	97.76
							N(23)						
Si	7.0430	6.8010	7.1710	6.5670	7.5750	7.1110	7.3030	7.6900	7.6630	7.6710	6.4640	6.4260	6.3780
Ti	0.0340	0.0420	0.0080	0.1250	0.0340	0.0250	0.0250	0.0000	0.0080	0.0000	0.1220	0.1220	0.1040
Al_4	0.9570	1.1990	0.0850	1.4330	0.4250	0.8890	0.6970	0.3100	0.3370	0.3290	1.5160	1.5740	1.6220
Al_6	0.3120	0.3950	0.0000	0.5010	0.1240	0.2170	0.1650	0.1660	0.1810	0.0770	0.4880	0.4860	0.4750
Cr	0.0840	0.1520	0.0000	0.0270	0.0170	0.1090	0.0750	0.0000	0.0080	0.0250	0.0090	0.0090	0.0090
Fe(2)	0.0000	0.0000	0.0000	1.6690	1.2400	0.1390	0.0840	0.0000	0.0000	0.0000	0.9210	0.8280	0.7380
Fe(3)	0.3280	0.3200	0.1530	0.2740	0.2620	0.3300	0.3260	0.2880	0.3040	0.3140	0.4700	0.5860	0.7370
Mn	0.0080	0.0000	0.0170	0.0360	0.0170	0.0000	0.0080	0.0080	0.0000	0.0080	0.0260	0.0260	0.0260
Mg	4.2610	4.1090	5.7180	2.3620	3.3030	4.1800	4.3170	4.5710	4.5140	4.5930	2.9750	2.9420	2.9000
Ca	1.8240	1.8230	2.5400	1.9250	1.9210	1.8850	1.8820	1.8710	1.8660	1.8860	1.8470	1.8330	1.8130
K	0.0340	0.0250	0.0000	0.1160	0.0170	0.0590	0.0420	0.0000	0.0000	0.0080	0.0440	0.0440	0.0430
Na	0.4290	0.5400	0.0170	0.4280	0.1030	0.3520	0.2760	0.0490	0.0660	0.0990	0.5430	0.5410	0.5440

#Some abbreviations in the Table 3A are used.

Table 3C. Continued.

b)

	OSK1B1	OSK1B2	OSK1B3	NSK10A1	NSK10A2	NSK10A3	NKW4B1	NKW4B2
SiO_2	0.049	0.024	0.030	0.210	0.017	0.935	0.019	0.036
TiO_2	0.077	0.113	0.087	-	0.015	0.017	0.754	0.804
Al_2O_3	26.888	27.977	23.217	26.469	27.338	20.529	10.518	9.982
Cr_2O_3	38.905	98.136	43.177	40.694	40.039	43.864	41.398	39.976
FeO	20.501	20.372	21.625	18.886	18.424	22.920	41.297	43.002
MnO	-	-	-	-	-	-	0.000	0.000
MgO	11.681	11.809	10.079	12.477	12.598	10.247	4.042	3.739
CaO	0.006	-	0.020	-	-	0.106	0.020	0.000
K_2O	-	0.019	0.018	0.013	0.002	0.043	0.000	0.016
Na_2O	0.008	0.036	0.015	0.035	0.027	0.185	0.000	0.008
NiO	0.074	-	-	0.042	0.129	0.025	0.155	0.193
Total	98.1890	98.4860	98.2680	98.8260	98.5890	98.8690	98.185	97.756
					N(32)			
Si	0.0120	0.0059	0.0076	0.0513	0.0041	0.2357	0.0052	0.0099
Ti	0.0143	0.0208	0.0165	-	0.0027	0.0032	0.1546	0.1657
Al	7.8039	8.0575	6.9132	7.6160	7.8542	6.0980	3.3768	3.32237
Cr	7.6390	7.4274	8.6787	7.9066	7.7657	8.8421	9.3770	9.1642
Fe(2)	3.6926	3.6587	4.1781	3.4433	3.3601	4.1122	6.3243	6.4172
Fe(3)	0.5293	0.5043	0.3909	0.4127	0.3956	0.7189	3.0791	3.4364
Mn	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0000
Mg	4.2887	4.3023	3.79650	4.5414	4.5786	3.8508	1.6416	1.5275
Ca	0.0016	-	0.0054	-	-	0.0286	0.0058	0.0000
K	-	0.006	0.0058	0.0041	0.0006	0.0140	0.0000	0.0059
Na	0.0039	0.0172	0.0074	0.0167	0.0128	0.0914	0.0000	0.0045
Ni	0.0148	-	-	0.0083	0.0256	0.0051	0.0357	0.0450

MgO(35.2-35.7 wt%) 조성을 보인다. 거정질 광물 내의 함량관계에서 중심부는 낮은 SiO_2, MnO, 높은 Al_2O_3, CaO, TiO_2, NiO 조성 및 마그네슘비를 보인다.

첨정석 : 이 광물은 변질도에 따라 조성 차이를 보인다. 일반적인 사문암화의 증가에 따라 첨정석군의 광물들은 갈색에서 흑적색으로 변하며 Cr 및 Fe^{+3} 함량이 증가하고 Mg 함량이 감소되는 경향을 보인다(Table 3C). 즉 magnesio chromite에서 chromite 조성을 보인다.

전체적으로 갈색의 첨정석류는 0.46~0.60 *Cr* (=Cr/(Cr+Al))와 0.48-0.60 *Mg*(=Mg/(Mg+Fe(2)) 비를 가지나 흑적색을 띄는 첨정석류는 0.70-0.75 *Cr*와 0.20-0.38 *Mg*를 갖는다(Table 3). 이런 부분적인 차이에도 불구하고 연구지역 초염기성암의 전체적인 첨정석 조성치는 대체적으로 기존의 비봉 광시 지역 연구치(Song *et al.*, 1997)의 범위에 해당하며 전세계적인 알파인형의 초염기성암으로 부터온 첨정석군의 경향(Dick and Bullen, 1984; Agata, 1988)내에 해당된다(Fig. 6).

기존의 첨정석군 연구들은 모암의 변질작용이 진행됨에 따라 상대적으로 Mg와 Al 이온이 축출되고 유동성이 적은 Fe 및 Cr이 잔류되며 변질정도가 더 증가되면, Cr보다는 Fe가 증가된다고 지적한바 있다(Golding and Bayliss, 1968; Beeson and Jackson, 1969).

6.2. 변질 광물

각섬석 : 이 광물은 단일의 자형 결정, 거정질, 재결정에 의해 입상 형태 또는 변질에 의한 섬유상 결정으로 산출되나 조성상 Ca-각섬석이다. 전자 3 형태는 트래모라이틱 각섬석에서 체마카이트질 각섬석 조성을 보이고 마지막 형태는 트래모라이트에서 액티노라이트 조성을 보인다(Table 3C, Fig. 7).

이와 같은 각섬석내의 다양한 성분 조성를 보이는 이유는 변질과 관련된 다양한 광물의 형태별 특징을 반영하는 것으로 생각된다.

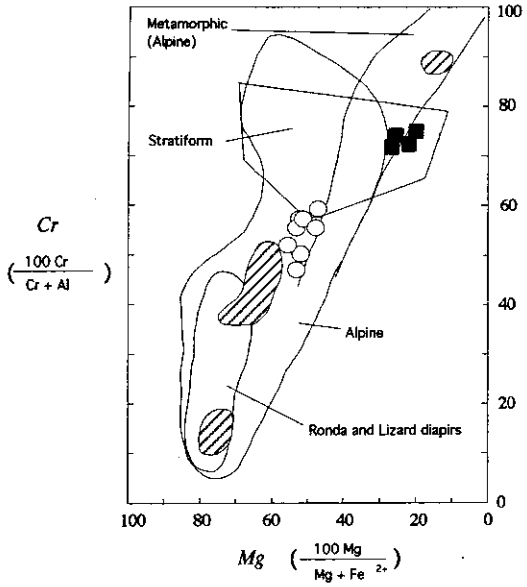

Fig. 6. Plot lot of spinel compositions of the ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam. Data from Dick and Bullen (1984), Lipin (1984) and Agata (1988). Open circles for the Singok ultramafic rock mass and filled squares for the Kaewol ultramafic rock mass. Shadow area for Bibong and Kwangsi ultramafic rocks (Song *et al.*, 1997).

즉 경하에서 PD 및 PSP 유형의 암석에서 자형 각섬석들은 대부분 사문암화영향을 받았으나 거정질 및 재결정 광물들은 거의 사문암화의 영향을 받지 않았다. 하지만 SP 유형으로 갈수록 거의 모든 결정들이 사문암화 되었고 섬유상 결정만이 잔류한다. 기존 인접 비봉-광시광산의 연구에서(Song *et al.*, 1997) 기재된 각섬석의 잔류체로 나오는 단사휘석의 존재를 고려해볼 때 이곳의 각섬석은 단사휘석으로 온 것으로 생각된다.

사문석 : 이 광물은 감람석 및 휘석의 변질물로 일부의 결정들은 감람석 및 휘석류의 가상을 보존하기도 하며 격자형 망상구조(mesh texture), 아우어 글래스 조직(hourglass texture), 리본 조직(ribbon texture)을 보이거나 세맥상으로 산출되기도 한다(Fig. 2). 일반적으로 이 광물은 PSP형의 암석에서는 격자형 망상구조나 아우어글래스 조직이 우세하며 SP형에서는 리본 조직이 우세하게 보인다.이 사문석의 다구조형을 화학조성차이로 구분(Whittaker and Wicks, 1970)이 가능하나 본 연구에서는 이들 사이의 명확한 차이가 나타나지 않았다.

녹리석 : 이 광물은 현미경하에서 크롬철석과 같이 공존하거나 함철, 마그네슘광물과 연관되어 산출되거나 운모류나 각섬석류의 변질광물로 산출되며 penninite 조성에 해당된다(Hey, 1954). 침정석류 주변의 녹리석은 사문암화의 진행에 따라 침정석에서 크롬철석으로 바뀌면서 빠져나온 Mg, Al의 성분에 의해 생성되었으며 이렇게 생긴 녹리석이 크롬철석 주위에 침전된 양상을 보이는 것으로 생각된다.

7. 토 의

7.1. 기존 알파인형의 초염기성암과의 비교

본 연구지역 초염기성암의 야외 산상, 암석학적, 광물학적 특징, 지화학적 조성치를 일부 유용한 기존의 국내 결과차들과 함께 Table 4에 정리하였다. 간략하면 남한 대부분의 초염기성암체들은 그 지역에 우세한 단층과 관련해서 산출되며 부분적 또는 완전히 사문암화 또는 활석화되어 있다.

일부 초염기성 암체들이 단사 휘석을 초함하기도 하지만 일반적인 광물 조성은 감람석, 사방휘석, 각섬석, 침정석이며 변질정도의 차이에 따라 사문석, 자철석, 녹리석등의 광물 함량에서는 차이를 보였다. 일반적인 광물 조직면에서 본 연구지역 암체들이 잔쇄반상조직과 재결정 또는 회전에 의한 흔적을 보이기도 하지만, 등립질-모자이트 및 원생입상 조직을 우세하게 보인다.

지화학적 측면에서 대부분의 암석들은 결핍된 알칼리 원소 함량, 넓은 알칼리 토금속 원소의 함량 변화, 높은 전이원소 함량 및 마그네슘비, 그리고 결핍된 비호정성원소 함량, HREE에 비해 LREE가 부화되는 특성을 보였다. 또한 광물 조성면에서 이들 초염기성암들은 높은 포스테라이트 및 Ni 조성의 감람석, 높은 마그네슘함량의 사방휘석을 포함한다.

서유럽 Variscan 조산운동대와 관련하여 산출되는 초염기성 암체들의 연구(Kalt *et al.*, 1995; Schmadicke and Evans, 1997)들은 이들 지역의 초염기성암체가 편마암 복합체내에서 단층대와 연관하여 수 km 이상 신장된 암체로서 산출되고 있음을 지적하고 있다. 그리이스 북서지역 초염기성암체(Economou-Eliopoulos and Vacondios, 1995) 및 캐나다 Newfoundland 지역 North Arm Mountain 암체의 연구(Suen *et al.*, 1979; Varfalvy *et al.*, 1996)들은 이 암체들이 변성작용과 관련하여 화강변정상, 잔쇄반상, 용리, 재결정의 흔적등을 보이고 있음을 지적하고 있으며 스페인의 Cerro del Almirez 연구(Trommsdorff *et al.*, 1998)는 이들 암체들이 수회에 걸친 사문암화 및 활석화 흔적을 보임을 지적하고 있다.

Table 4A. Field evidences and petrographical characteristics of ultramafic rocks from the western part of Chungnam province and their comparisons with available data.

Locality	Field evidence (contact, direction, extension size)	Rock Type	Mineral Assemblage		Texture	Alteration or Metamorphism
			Major	Minor		
Hongseong*	Fault contact, NNE Above 1000 meter	PD, PSP, SP	Ol, Opx, Am	Sp, Phl, Spin Mt, Chl, Tc	Equigranular-mosaic Protogranular	serpen, talc, recryat
Bibong**	Fault contact, NNE Several 100 meter	PSP, SP	Ol, Opx, Am	Sp, Mt, Spin, Phl, Chl, Cal	Protogranular Equigranular-mosaic	serpen, talc, recryat
Kwangsi**	Fault contact, NNE Several 100 meter	PD, PSP, SP	Ol, Opx, Am	Sp, Mt, Spin, Phl, Chl, Tc, Cpx	Protogranular Equigranular-tabular	talc, recryat, serpen
Singok***	Parall to Fault line, NNE, Several 100 meter	PSP, SP	Ol, Opx, Am	Sp, Spin Tc, Chl, Phl	Porphyroclastic, Protogranular	serpen, talc, recryat
Gaewol***	Fault contact, NNE Several 100 meter	PSP, SP	Ol, Opx, Am	Sp, Tc, Spin, Tc, Phl	Porphyroclastic, Protogranular Equigranular-mosaic	serpen, recryat
Andong****	Parallel to andong fault Above 3000 meter	PD, PSP, SP	Ol, Cpx, Am	Sp, Chl, Cal, Tc	?	serpen
Ulsan*****	Two separated mass (?)	PD, PSP, SP	Ol, OPx, Cpx	Sp, Mt, Cal, Am, Tc, Chl	Porphyclastic	serpen

#*from unpublished data (Choi *et al.*, 2001), **from Song *et al.* (1997), ***from this study, ****from Hwang *et al.* (1993), *****from Kim *et al.* (1993), #Abbreviations; PD, PSP and SP in the text. Ol for Olivine, Opx for Orthopyroxene, Am for Amphibole, Cpx for Clinopyroxne, Sp for Serpentine, Spin for Spinel, Phl for Phlogopite, Chl for Chlorite, Cal for Calcite, Tc for Talc, recryat for recrystallization, talc for talcification and serpen for serpentinization.

Table 4B. Geochemical and mineralogical compositions of ultramafic rocks from the western part of Chungnam province and their comparisons with available data.

Locality	Geochemistry			Mineralogy
	Major E.(wt %)	Transitional E.(ppm)	Incompatible E.(ppm)	
Hongseong*	CaO<2.17, Na_2O<0.19 K_2O<0.08, P_2O_5<0.01	*Mg*=89.6-91.6, Ni=1877-2397 Cr=2301-2566, Co=86-110	Variable Sr (1.9-29), Ba(5-42) High LFSE/HFSE, LREE/HREE Most HREE is below detection limit	$Fo_{90.8-92.7}$, $En_{88.8.-93.4}$ Spinel(*Cr*=31.2-77.8, *Mg*=29.1-65.2)
Bibong**	CaO<0.89, Na_2O<0.05 K_2O<0.03, P_2O_5<0.02	*Mg*=90.3, Ni=2465-3005 Cr=1689-2616, Co=79-108	Variable Sr(1.6-61), Ba(8.5-133.6) High LFSE/HFSE, LREE/HREE Most HREE is below detection limit	$Fo_{90.5-91.7}$, $En_{880.-92.1}$ Spinel(*Cr*=27.2-41.6, *Mg*=55.9-73.3)
Kwangsi**	CaO<2.22, Na_2O<0.24 K_2O<0.08, P_2O_5<0.02	*Mg*=89.6-91.9, Ni=2462-2949 Cr=1620-2224, Co=93-117	Variable Sr(1.2-15.1),Ba(13.3-138.5) High LFSE/HFSE, LREE/HREE Most HREE is below detection limit	$Fo_{89.8-89.5}$, $En_{89.3-89.9.1}$ Diopside Spinel(*Cr*=12.7-18.3, *Mg*=73.1-75.5)
Singok***	CaO<0.45, Na_2O<0.09 K_2O<0.04, P_2O_5<0.17	*Mg*=90.4-92.3, Ni=872-2610 Cr=2100-2810, Co=37-120	High LFSE/HFSE, LREE/HREE	$Fo_{90.13-92.22}$, $En_{94.98-97.52}$ Spinel(*Cr*=45.5-60.0, *Mg*=47.5-60.5)
Gaewol***	CaO<2.07, Na_2O<0.89 K_2O<0.03, P_2O_5<0.01	*Mg*=90.3-92.6, Ni=1350-2480 Cr=2300-3570, Co=63-105	High LFSE/HFSE LREE/HREE	$Fo_{88.09-93.68}$, $En_{93.61-96.47}$ Spinel(*Cr*=70.3-75.4, *Mg*=20.2-38.4)
Andong****	CaO<6.66, Na_2O<0.08 K_2O<0.01, P_2O_5<0.03	*Mg*=83.1-87.2, Ni=929-1458 Cr=1378-1893, Co=61-80	Variable Sr(3-54) High LREE/HREE	
Ulsan*****	CaO<1.48, Na_2O<0.73 K_2O<0.26, P_2O_5<0.13	*Mg*=89.7-93.5 , Ni=1638-2244 Cr=979-3582, Co=56-107	Variable Sr(1-29), Ba(4-41)	$Fo_{89.7-92.3}$, $En_{89.3-93.2}$ Diopside

#*from unpublished data (Choi *et al.*, 2001), **from Song *et al.* (1997), ***from this study , ****from Hwang *et al.*(1993), *****from Kim *et al.* (1993). *Mg*=MgO/(MgO+FeO) × 100. *Cr*=Cr/(Cr+Al)× 100.

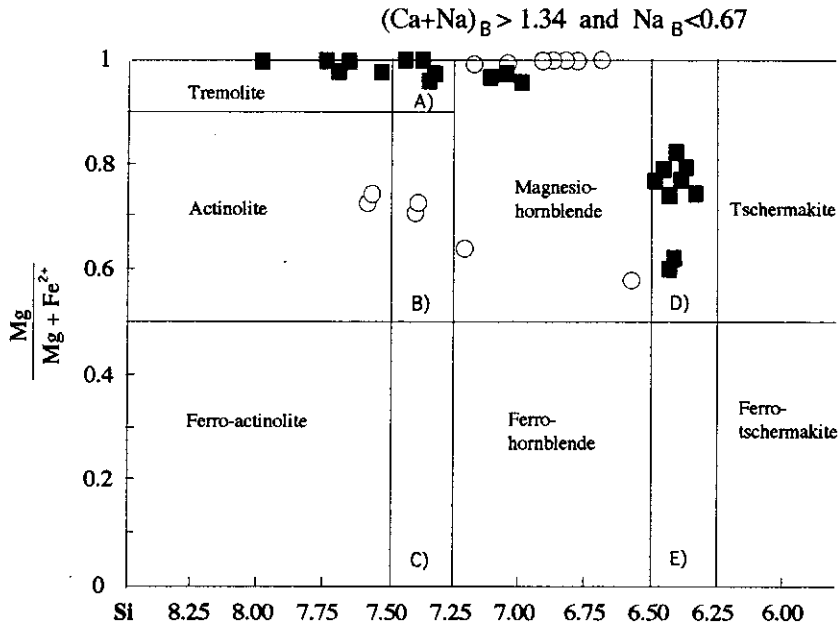

Fig. 7. Compositions of the Ca-amphiboles for the ultramafic rocks from the Singok area, western part of Chungnam. A) for Tremolitic hornblende, B) for Actinolitic hornblende, C) for Ferro-actinolitic hornblende, D) for Tschermakitic hornblende and E) for Ferrotschermakitic hornblende. Symbols are the same as those in the Fig. 6.

광물 조성에 대한 연구들(Menzies, 1976; Varfalvy *et al.*, 1996)은 이들 초염기성암체가 높은 포스테라이트(대부분이 $Fo_{>0.89}$), 엔스테타이트($En_{>0.86}$)조성과 변질 및 변성작용과 관련하여 다양한 성분의 첨정석이 산출되고 있음을 지적하고 있다.

지화학적 연구에서 그리이스 Orthris (Menzies 1976) 및 오스트리아의 Bohemian 암체(Becker, 1996)들은 낮은 알칼리 원소 함량(대략적으로 CaO=0.7-2.5, Na_2O<0.57, K_2O<0.13 wt%)을 보여주고 있고, Varfalvy *et al.*(1996)는 North Arm Mountain 암체가 낮은 Rb(6-15 ppm) 함량과 넓은 범위의 Sr(9-77 ppm)을 보이고 있음을 언급하고 있다. 또한 위 연구들은 초염기성 암체들이 높은 마그네슘(MgO=34.9-40.3 wt%) 및 전이원소(대략적으로 Ni>1870 ppm, Cr>1700 ppm, Co>105 ppm) 함량을 보이고 있음을 지적하기도 하고 있다.

한편 희토류 원소조성에 대한 연구(Frey, 1969; Menzies, 1976; Pallister and Knight, 1981; Bodinier, 1988; Dymek *et al.*, 1988; Becker, 1996)들은 초염기성암체내의 희토류원소 조성이 매우 낮으며(대부분이, <1 ppm) HREE에 비해 LREE가 부화되는 특징을 보이고 있음을 지적하고 있다.

이런 전체적인 특징들은 본 연구 대상지역인 신곡 및 계월지역 암체들의 산상, 암석학적, 광물학적, 지화학적 특징들과 유사하다.

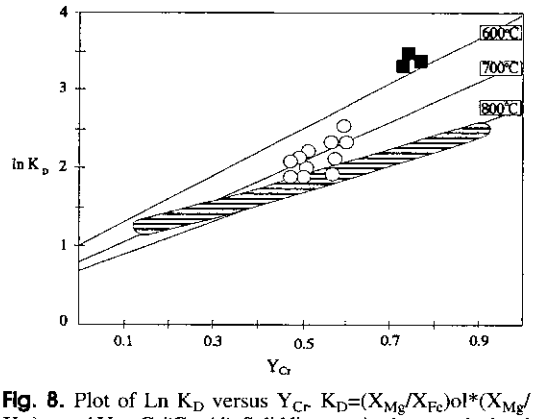

Fig. 8. Plot of Ln K_D versus Y_{Cr}. $K_D=(X_{Mg}/X_{Fe})ol*(X_{Mg}/X_{Fe})sp$ and $Y_{Cr}=Cr/(Cr+Al)$. Solid lines are isotherms calculated from the equations of Fabries (1979). Symbols are the same as those in the Fig. 6. Shadow area for Bibong and Kwangsi ultramafic rocks (Song *et al.*, 1997)

7.2. 변성작용

기존 많은 알파인형 초염기성암의 연구들은 이 암석이 지표면에 정치 또는 관입 과정 또는 후에 많은 변성작용을 받았음을 언급하고 있다(Pakdung, 1984;

Dymek *et al.*, 1988; Raymond, 1995). 신곡지역의 초염기성암체는 잔류반상 및 재결정화된 조직을 포함하며 일부 거정질 각섬석 및 사방휘석은 광물의 배열 방향과는 다른 회전된 형태로 산출된다.

이 초염기성암에 대한 정치후의 변성작용과 관련된 온도변화를 알아보기 위해 초염기성암체 중 공존하는 감람석-첨정석쌍을 근거로 Fabries(1979)의 방정식을 이용하여 계산하였다(Fig. 8). 이 결과 전체적인 범위는 550°~820°C이나 신곡 암체(650°~820°C)가 계월 암체(<650°C) 보다 높았다. 하지만 이런 온도 범위는 일반적인 맨틀기원 초염기성암 포획암의 온도 범위인 850°~1200°C(Griffin *et al.*, 1984) 와는 커다란 차이를 보였다. 이런 전체적인 온도범위는 흔히 맨틀기원의 초염기성암에서 지시하는 온도범위라기보다는 연구 지역 초염기성암체들이 녹색편암상에서 백립암상에 해당되는 온도범위에서 변성과정을 경험하였음을 암시한다.

8. 결 언

1. 신곡 및 계월 지역 초염기성암들은 격리된 안구상암체들로서 이 지역에 우세하게 나타나는 주 구조선 방향인 NNE 방향으로 산출된다. 이 암석들은 완전히 또는 부분적으로 사문암화 및 활석화 되었는데 잔쇄반상조직이 두드러지며 등립질-모자이크조직 및 원생입상조직을 보이기도 한다.

2. 이 초염기성암들은 듀나이트 또는 하즈버자이트로 변질 및 변성정도에 따른 차이를 보이기도 하지만 높은 포스테라이트 조성의 감람석($Fo_{0.88-0.93}$), 엔스테타이트 조성의 사방휘석($En_{0.93-0.97}$), 트래모라이트질에서 체마카이트질의 각섬석 및 투각섬석을 주로 포함하고 마그네네시오 크로마이트에서 크로마이트 조성의 첨정석을 포함한다. 그 외에 사문석, penninite 조성의 녹리석, 방해석, 자철석, 활석등을 포함하기도 한다.

3. 지화학적으로 이 암석은 높은 마그네슘비(Mg>90.38) 및 전이 원소(Ni=595-2480, Cr=1010-4400, Co=36-120 ppm) 함량과 낮은 알칼리 원소함량(Na_2O <0.3, Al_2O_3<2.95, CaO<4.66 wt%) 및 결핍된 비호정성원소들의 빈도를 보인다. 한편 초염기성암 부류 중 SP형은 PD형에 비해 LFSE가 부화된 빈도치를 보인다.

4. 연구 지역 초염기성암의 암석학적, 지화학적, 광물학적 결과들은 충남 기타 지역 및 전세계의 지구조적으로 노출된 알파인형의 초염기성암과 유사하다.

5. 이 암석에서 계산된 지질온도는 이 암석이 상부 녹색편암상에서 백립암상에 해당되는 온도범위에서 변성작용을 받았음을 암시한다.

사 사

이 연구는 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음을 밝힌다(KRF-1999-003-D00187).

참고문헌

강필종, 임주환, (1974) 한국지질도 1:50,000 광정지질 도폭. 국립지질조사소.

김규한, 박재경, 양종만, Hiroshi Satake (1993) 울산 철광산지역 사문암의 사문암화작용에 관한 연구. 광산지질, 26권. p. 267-278.

김규한, 박재경, 양종만, Yoshida Naohhiro (1990) 울산 철광산의 탄산염과 사문암의 성인. 지질학회지, 26권, p. 407-417.

김서운, 유환수, 우영균, (1976) 한국지질도 1:50,000 공주지질 도폭. 국립지질조사소.

엄상호 , 이민성, (1963) 한국지질도 1:50,000 대흥지질도폭 및 설명서. 국립 지질조사소.

우영균, 최석원, 박기화 (1991) 충남 예산지구 활석광산의 성인에 대한 연구. 광산지질, 24권, p. 363-378.

윤상필, 문희수, 송윤구 (1994) 초염기성암 기원의 평안 및 대흥활석광상의 성인과 광물화학. 자원환경지질, 27권, p. 131-145.

이상헌, 최기주 (1994) 대흥 활석 광상 주변의 편마암류의 지화학적 특징과 공존광물의 화학적 평형. 암석학회지, 3권, p. 138-155.

이종혁, 김성수, (1963) 한국지질도 1:50,000 홍성지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소.

지정만, 김규봉 (1977) 사문석의 활석화 과정에 관한 연구. 광산지질. 10권, p. 75-92.

최선규, 송석환, 최성호 (2001) 충남 홍성 및 광천지역 초염기성 암체의 광물 조성 및 암석지구화학(준비중).

최수용, 황진연, 김정진, 이윤종 (1990) 울산사문암체의 광물학적, 지구화학적 연구. 지질학회지, 26권, p. 105-118.

황진연, 김정진, 옥수석 (1993) 안동지역 사문암 광산의 구성광물 및 성인에 관한 연구. 광산지질, 26권, p. 1-10.

Agata, T. (1988) Chrome spinels from the Oura layered igneous complex, central Japan. Lithos, v. 21, p. 350-375.

Becker, H. (1996) Geochemistry of garnet peridotite massifs from lower Austria and the composition of deep lithosphere beneath a Palaeozoic convergent plate margin. Chemical Geol., v. 134, p. 49-65.

Beeson, M.H. and Jackson, E.D. (1969) Chemical composition of altered chlomites from the Stillwater Complex, Montana. Amer. Miner., v. 54, p. 1084-1100.

Bodinier, J.L. (1988) Geochemistry and petrogenesis of the Lanzo peridotite body, western Alps. Tectonophy., v. 149, p. 67-88.

Christensen, N.I. and Lundquist, S.M. (1982). Pyroxene orientation within the upper mantle. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 93, p. 279-288.

Coleman, R.G. (1977) Ophiolites-ancient oceanic lithosphere?, in PJ. Wyllie(ed.), Minerals and Rocks.

Springer-Verlag, Berlin. v. 12.
Den Tex, E. (1969) Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history: A contribution to the discussion of the paper "The origin of ultramafic and ultrabasic rocks" by P.J. Wyllie. Tectonophy., v. 7, p. 457-488.
Dick, H.J.B. and Bullen, T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spartially associated lavas. Contrib. Miner. Petrol., v. 86, p. 54-76.
Dymek, R.F., Brothers, S.C. and Schiffries, C.M. (1988) Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from 3800 Ma Isua supracrustal belt, western Greenland. J. Petrol., v. 29, p. 1353-1397.
Economou-Eliopoulos, M. and Vacondios, I. (1995) Geochemistry of chromitites and host rocks from the Pindos ophiolite complex, northwestern Greece. Chemical Geol., v. 122, p. 99-108.
Fabries, J. (1979) Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. Contrib. Miner. Petrol., v. 69, p. 329-336.
Frey, F.A. (1969) Rare earth abundances in a high-temperature peridotite intrusion. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 33, p. 1429-1447.
Girardeau, J. and Mercier, J.C.C. (1988) Petrology and texture of the ultramafic rocks of the Xigaze ophiolite (Tibet): Constraints for mantle structure beneath slow-spreading ridges. Tectonophy., v. 147, p. 33-58.
Golding, H.G. and Bayliss, P. (1968) Altered chrome ores from the Coolac serpentinite belt, New South Wales, Australia. Amer. Miner., v. 53, p. 162-183.
Griffin, W.L., O'Reilly S.Y. and Stabel, A. (1988) Mantle metasomatism beneath western Victora, Australia: II. Isotopic geochemistry of Cr-diopside lherzolites and Al-augite pyroxenite. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 52, p. 449-460.
Griffin, W.L., Wass, S.Y. and Hollis, J.D. (1984) Ultramafic xenoliths from Bullenmerri and Gnotuk Maars, Victoria, Australia: petrology of sub-continental crust-mantle transition. J. Petrol., v. 25, p. 53-89.
Hebert, R., Serri, G. and Hekinian, R. (1989) Mineral chemistry of ultramafic tectonites and ultramafic to gabbroic cumulates from the major oceanic basins and northern Apennine ophiolites (Italy): A comparison. Chemical Geol., v. 77, p. 183-207.
Hess, H.H. (1955) Serpentines, orogeny and epiogeny. In Polervaart, A., (ed.), Crust of the Earth. Geol. Soci. Amer. Spec. Pap., no. 62, p. 391-407.
Hey, M.H. (1954) New review of chlorites. Miner. Mag., v. 30, p. 277-292.
Jackson, I. (1991) The petrological basis for the interpretation of seismological models for continental lithosphere. In Drummond, B.J. (ed.), The Eastern Australian lithosphere. Geol. Soc. Aust. Spec. Pub., v. 17, p. 81-114.
Jackson, I. and Arculus, R.J. (1984) Laboratory wave velocity measurements on lower crustal xenoliths from Calcutteroo, South Australia. Tectonphy., v. 101, p. 185-197.
Jackson, I., Rudnick, R.L., O'Reilly, S.Y. and Bezant, C. (1990) Measured and calculated elastic wave velocities for xenoliths from the lower crust and upper mantle. Tectonphy., v. 173, p. 207-210.
Kalt, A., Altherr, R. and Hanel, M. (1995) Contrasting P-T conditions recorded in ultramafic high pressure rocks from the Variscan Schwarzwald (F.R.G). Contrib. Miner. Petrol., v. 121, p. 45-60.
Lipin, B.R. (1984) Chromite from the Blue Ridge province of North Calorina. Amer. J. Sci., v. 284, p. 507-529.
McDonough, W.F. (1990) Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle. Earth Planet. Sci. Lett., v. 101, p. 1-18.
Menzies, M. (1976) Rare earth geochemistry of fused ophiolitic and alpine lherzolites-I. Othris, Lanzo and Troodos. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 40, p. 645-656.
Mevel, C., Canat, M., Gente, P., Marion, E., Auzende, J. M. and Karson, J.A. (1991) Emplacement of deep crustal and mantle rocks on the West median valley, Wall of the mark area (MAR), 23°N. Tectonophy., v. 190, p. 31-53.
Mittwede, S.K. and Stoddard, E.F. (1989) Ultramafic Rocks of the Appalachian Piedmont. (ed.) Geol. Soc. Amer. Spec. Pub., no. 231, 103 p.
Moores, E.M. and Jackson, E.D. (1974) Ophiolites and oceanic crust. Nature, v. 250, p. 136-138.
Moores, E.M. and MacGregor, I.E. (1972) Types of alpine ultramafic rocks and their implications for fossil plate interactions. In Shagam, R. et al. (ed.), Studies in Earth and Space Sciences. Geol. Soc. Amer. Memor., no. 132, p. 209-223.
Nicolas, A. (1989) Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic, Dordrecht. p. 379.
O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L. (1988) Mantle metasomatism beneath western Victoria, Australia: I. Metasomatic processes in Cr-diopside lherzolites. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 52, p. 433-447.
Ozawa, K. (1994) Melting and melt segregation in the mantle wedge above a subduction zone: Evidence from the chromite-bearing peridotites of the Miyamori ophiolite complex, Northeastern Japan. J. Petrol., v. 35, p. 647-678.
Paktung, A.D. (1984) Metamorphism of the ultramafic rocks of the Thompson mine, Thompson nickel belt, Northern Manitovia. Canadian Miner., v. 22, p. 77-91.
Pallister, J.S. and Knight, R.J. (1981) Rare-Earth Element Geochemistry of the Samail Ophiolite near Ibra, Oman. J. Geophy. Res., v. 86, p. 2673-2697.
Peacock, S.M. (1987) Serpentinization and infiltration metasomatism in the Trinity peridotite, Klamath province, northern California: implications for subduction zones. Contrib. Miner. Petrol., v. 95, p. 55-70.
Rampone, E.M., Hofmann, A.W., Piccardo, G.B., Vanuggi, R., Bottazzi, P. and Ottolini, L. (1995) Petrology, mineral and isotope geochemistry of the external Liguride peridotites (Northern Apennines, Italy). J. Petrol., v. 36, p. 81-105.
Raymond, L.A. (1995) Metamorphic petrology, Wm. C. Brown Publishers, p. 656-675.
Schmadicke, E. and Evans, B.W. (1997) Garnet-bearing ultramafic rocks from the Erzgebirge, and their relation to other settings in the Bohemian Massif. Contrib. Miner. Petrol., v. 127, p. 57-74.
Song, S.H., Choi, S.G. and Woo, J.G. (1997) Genetic

implications of ultramafic rocks from the Bibong area in the Kyeonggi gneiss complex. Econ. Environ. Geol., v. 30, p. 477-491.

Song, Y. and Moon, H.S. (1991) Supergene chloritization and vermiculitization in hornblende gneiss, the Cheongyang area. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 24, p. 233-244.

Spell, T.L. and Norrell, G.T. (1990) The Ropes Creek assemblage: Petrology, geochemistry and tectonic setting of an ophiolitic thrust sheet in the southern Appalachians. Amer. J. Sci., v. 290, p. 811-842.

Suen, C.J., Frey, F.A. and Malpas, J. (1979) Bay of Islands ophiolite suite, Newfoundland: Petrologic and geochemical characteristics with emphasis on rare earth element geochemistry. Earth Planet. Sci. Lett., v. 45, p. 337-348.

Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A.D. and Norry, M.J. (ed.), Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., no. 42, p. 313-345.

Trommsdorff, V., Sanchez-Vizcaino, V.L., Gomez-Pugnaire, M.T. and Muntener, O. (1998) High pressure breakdown of antigorite to spinifex-textured olivine and orthopyroxene, SE Spain. Contrib. Miner. Petrol., v. 132, p. 139-148.

Varfalvy, V., Hebert, R. and Bedard, J.H. (1996) Interactions between melt and upper-mantlt peridotites in the North Arm Mountain massif, Bay of Islands ophiolite, Newfoundland, Canada: Implications for the genesis of boninitic and related magmas. Chemical Geol., v. 129, p. 71-90.

Wee, S.M. Choi, S.G. and So, C.G. (1994) Preliminary study on ultramafic rocks from the Chungnam Province, Korea. Econ. Environ. Geol., v. 27, p. 171-180.

Whittaker, E.J.W. and Wicks, F.J. (1970) Chemical differences among the serpentine "polymorphys" : a discussion. Amer. Miner., v. 55, p. 1025-1047.

2001년 5월 24일 원고접수, 2001년 8월 14일 게재승인.